



TUGAS AKHIR - RF 141501

**PEMODELAN ALIRAN FLUIDA PANAS MANIFESTASI
HIDROTERMAL SONGGORITI, KOTA BATU MENGGUNAKAN
METODE *SELF-POTENTIAL***

ANGGI ARWIN PRATAMA
NRP. 3713100014

Dosen Pembimbing:
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
Dr. Dwa Desa Warnana

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - RF 141501

**PEMODELAN ALIRAN FLUIDA PANAS MANIFESTASI
HIDROTHERMAL SONGGORITI, KOTA BATU MENGGUNAKAN
METODE *SELF-POTENTIAL***

**ANGGI ARWIN PRATAMA
NRP. 3713100014**

Dosen Pembimbing:

**Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
Dr. Dwa Desa Warnana**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

**THERMAL FLUID FLOW MODELLING HYDROTHERMAL
SONGGORITI MANIFESTASION, BATU CITY USING SELF-
POTENTIAL METHOD**

**ANGGI ARWIN PRATAMA
NRP. 3713100014**

**Advisor Lecturer:
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T
Dr. Dwa Desa Warnana**

**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

**PEMODELAN ALIRAN FLUIDA PANAS MANIFESTASI
HIDROTHERMAL SONGGORITI, KOTA BATU MENGGUNAKAN
METODE *SELF-POTENTIAL***

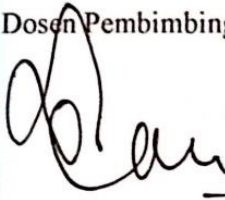
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Pada Departemen Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 20 Juli 2017

Menyetujui

Dosen Pembimbing 1



Dr. Ayi Syaeful Bahri

NIP. 19690906 199702

Dosen Pembimbing 2



Dr. Dwa Desa Warnana

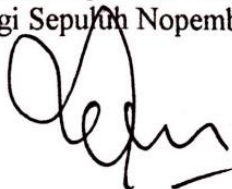
NIP. 19760123 200003 1001



Mengetahui,

Ketua Laboratorium Eksplorasi
Departemen Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



Dr. Ayi Syaeful Bahri

NIP. 196909 0619970 2100

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “PEMODELAN ALIRAN FLUIDA PANAS MANIFESTASI HIDROTHERMAL SONGGORITI KOTA BATU MENGGUNAKAN METODE *SELF-POTENTIAL*” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 28 Mei 2017

Anggi Arwin Pratama

NRP 3713100014

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

PEMODELAN ALIRAN FLUIDA PANAS MANIFESTASI HIDROTHERMAL SONGGORITI KOTA BATU MENGGUNAKAN METODE *SELF-POTENTIAL*

Nama Mahasiswa : Anggi Arwin Pratama
NRP : 3713 100 014
Jurusan : Teknik Geofisika ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ayi Syaeful Bahri, Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRAK

Penelitian aliran fluida panas telah dilakukan di daerah manifestasi hidrotermal Songgoriti menggunakan metode pengukuran *Self-Potential*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pola aliran fluida panas dan letak kedalaman anomali fluida panas di Songgoriti, Kota Batu. Metode *Self-Potential* efektif digunakan untuk penelitian ini karena metode tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai potensial alami bawa permukaan, sehingga karakteristik beda potensial fluida panas bawah permukaan dapat ditentukan.

Pengambilan data *Self-Potential* menggunakan konfigurasi *leap-frog* dengan jumlah titik pengukuran 100 datum. Hasil pengukuran menunjukkan karakteristik fluida panas diasumsikan sebagai anomali tinggi sekitar 60 sampai 85 mV. Hal itu dikarenakan fluida panas berasosiasi dengan batuan teralterasi sehingga bersifat termal konduktif. Proses konduksi termal di daerah penelitian diindikasikan berasosiasi dengan zona alterasi hidrotermal yang menyebabkan peningkatan nilai anomali *self-potential* yang terdistribusi merata pada daerah tersebut dan mempengaruhi aliran lokal.

Aliran fluida teridentifikasi pada kedalaman 78 hingga 150 meter dengan pola aliran mengalir dari zona manifestasi berarah ke timur dan barat.

Kata Kunci : Fluida Panas, *Self-Potential*, Anomali, Pemodelan

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

THERMAL FLUID FLOW MODELLING HYDROTHERMAL SONGGORITI MANIFESTASION, BATU CITY USING SELF- POTENTIAL METHOD

Name of Student : Anggi Arwin Pratama
Student ID Number : 3713 100 014
Department : Geophysical Engineering ITS
Advisor Lecture : Dr. Ayi Syaeful Bahri, Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRACT

Thermal fluid flow research has been conducted in the Hydrothermal Songgoriti manifestation area using Self-Potential measurement method. The aim of this research is to get the thermal fluid flow pattern and the depth of thermal fluid anomaly in Songgoriti area, Batu City. An effective Self-Potential method is used for this study because the method can be used to determine the natural potential value of surface carrying, so that the potential difference characteristics of the sub-surface thermal fluid can be determined.

Self-Potential data collection using leap-frog configuration with number of datum measurement points. The results of the measurements show that the characteristics of thermal fluids are assumed to be high anomalies of about 60 to 85 mV. That's because the thermal fluid is associated with the teraltered rock so that it is thermally conductive. The thermal conduction process in the research area is indicated in association with the hydrothermal alteration zone which leads to an evenly distributed self-potential anomaly value increase in the area and influences the local flow.

The fluid flow is identified at a depth of 78 to 150 meters with flow patterns flowing from the eastward and western manifestation zones.

Keywords : Thermal fluid, Self-Potential, Anomaly, Modelling

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya laporan Tugas Akhir yang berjudul “PEMODELAN ALIRAN FLUIDA PANAS MANIFESTASI HIDROTHERMAL SONGGORITI KOTA BATU MENGGUNAKAN METODE *SELF-POTENTIAL*” ini dapat terselesaikan.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan dengan baik, tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu, Arbi, Azmi, dan seluruh keluarga, berkat dukungan moril maupun materi selama penulis menjalani tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku ketua Departemen Teknik Geofisika ITS.
3. Bapak Dr. Ayi Syaeful Bahri dan Bapak Dr. Dwa Desa Warnana selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
4. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu secara administrasi selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Iciyo dan Faisal atas kerjasama dan kerja kerasnya sebagai tim dalam proses tugas akhir.
6. Dimas, Fuad, Wawan, Fahmi, Robi, Ujang, Hamzah, Yuri, Imam dan Dwi atas bantuan dalam pengambilan data tugas akhir.
7. Albert, Ikmal, Mella, Nindy dan Haris yang telah menemani perjuangan penulis selama masa kuliah.
8. Seluruh teman-teman Teknik Geofisika ITS, khususnya teman teman TG-02 atas semangat dan dukungannya.
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan dan hasil tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 29 Mei 2017

Anggi Arwin Pratama

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	vi
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	viii
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xii
KATA PENGANTAR.....	xiv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Geologi Regional Batu	3
2.2 Dasar Teori.....	4
2.2.1 Sumber Self Potential	4
2.2.2 Potensial Elektrokinetik (<i>Streaming Potential</i>)	7
2.2.3 Potensial Difusi (<i>Liquid Junction</i>).....	7
2.2.4 Potensial Lempung (<i>Nerst Potential</i>)	7
2.2.5 Potensial Mineralisasi.....	7
2.2.6 Pemodelan Kedepan (<i>Forward Modeling</i>) untuk Metode Self Potensial	8
2.6.7 Pemodelan Kebelakang (<i>Inverse Modeling</i>) untuk Metode Self Potensial	9
2.6.8 Pengukuran Metode <i>Self-Potential</i>	12
2.6.9 Interpretasi Anomali <i>Self-Potential</i>	13
BAB III.....	15
METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2 Diagram Alir Pengolahan Data	17
3.3 Pengumpulan Data	19
BAB IV	21
HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Analisa Hasil Citra Landsat.....	21
4.2 Hasil Pengukuran <i>Self-Potential</i> 2D.....	23

4.3 Pemodelan Inversi 1 Dimensi	25
4.4 Pemodelan <i>self-potential</i> Inversi 2D.....	27
4.5 Interpretasi Pola Aliran Fluida Panas	35
4.6 Korelasi Hasil Survey <i>Self-Potential</i> dan Resistivitas	37
BAB V	41
KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	45
BIOGRAFI PENULIS.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Batu.....	3
Gambar 2.2 Tampilan penampang untuk anomali SP <i>sphere, horizontal cylinder</i> , dan <i>vertical cylinder</i> (El-Araby, 2003).....	7
Gambar 2.3 Porouspot.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3.2 Desain Pengukuran.....	16
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data.....	17
Gambar 4.1 Citra Landsat Temperatur Permukaan.....	21
Gambar 4.2 Citra Landsat Geomorfologi.....	22
Gambar 4.3 Peta Isopotensial.....	23
Gambar 4.4 Profil Isopotensial pada zona manifestasi.....	24
Gambar 4.5 Profil Isopotensial Anomali Area Utara.....	25
Gambar 4.6 Line anomali inversi satu dimensi.....	26
Gambar 4.7 Line anomali inversi dua dimensi.....	28
Gambar 4.8 Penampang 2D line 1.....	29
Gambar 4.9 Penampang 2D line 2, 3, 4, 5, dan 6.....	31
Gambar 4.10 Penampang line 4 (Manifestasi).....	32
Gambar 4.11 Penampang line 1.....	32
Gambar 4.12 Peta topografi daerah penelitian.....	33
Gambar 4.13 Penampang line 2.....	33
Gambar 4.14 Penampang line 3.....	34
Gambar 4.15 Penampang line 5 dan 6.....	34
Gambar 4.16 Peta isopotensial manifestasi hidrotermal Songgoriti.....	35
Gambar 4.17 Model 3D isopotensial Songgoriti (barat-selatan).....	36
Gambar 4.18 Model 3D isopotensial Songgoriti (timur-utara).....	37
Gambar 4.19 Penampang <i>self-potential</i> dan resistivitas line 4.....	38
Gambar 4.20 Penampang <i>self-potential</i> dan resistivitas line 3.....	39
Gambar 4.21 Isopotensial dan iso-resistivitas daerah penelitian.....	40

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber dan tipe anomali	5
Tabel 2.2 Macam-macam tipe potensial.....	6
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian.....	20
Tabel 1. Data observasi Self-Potensial 2-D.....	45

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber panas bumi berasal dari hasil pemanasan fluida oleh suatu sumber panas misalnya magmatis. Maka pada umumnya sumber panas bumi berasosiasi dengan aktifitas vulkanik baik langsung maupun tidak langsung. Untuk itu biasanya daerah penelitian sumber panas bumi berlokasi disekitar daerah gunung berapi yang sudah tidak aktif. Daerah penelitian kali ini berfokus pada manifestasi panas bumi Songgoriti kota Batu. Manifestasi Songgoriti berupa mata air panas yang berasosiasi dengan sistem panas bumi gunung Kawi.

Pemetaan panas bumi sangat diperlukan untuk dapat mengeksploitasi sumber dayanya dengan mengetahui pola aliran fluida panas. Untuk memetakan pola aliran fluida panas digunakan metode geofisika salah satunya *self-potential*. Metode *self-potential* dapat memetakan pola aliran hidrotermal sistem panas bumi sehingga sebaran dapat terlihat secara regional. Secara konseptual, SP adalah teknik yang sangat sederhana dan serbaguna karena sinyal listrik yang ada di dalam media penghantar listrik (seperti bumi) dapat dideteksi dari jarak yang jauh dari lokasi mekanisme gaya. (Minsley, 1997)

Pemetaan pola aliran fluida didapat dari peta isopotensial yang menerangkan sebaran potensial. Pengolahan *self-potential* sering menghasilkan error sehingga diperlukan komparasi dan korelasi dengan data hasil pemodelan kebelakang dan kedepan (*inverse and forward modelling*). Pembuatan model bertujuan untuk meminimumkan anomali perhitungan dari anomali hasil pengukuran, sehingga diperlukan perbandingan kesuaian model yang dibuat dengan model sebenarnya. Pada kasus ini diambil studi kasus pada manifestasi hidrotermal Songgoriti Kota Batu dengan pemetaan fluida panas yang hasilnya akan dilakukan pemodelan sehingga didapatkan model akurat untuk investigasi pola aliran fluida panas yang tersebar pada salah satu potensi panas bumi daerah Songgoriti Kota Batu.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pola aliran fluida panas manifestasi hidrotermal Songgoriti dengan metode self potensial.
2. Berapa kedalaman fluida panas pada pola aliran fluida panas manifestasi hidrotermal Songgoriti dengan metode self potensial.
3. Integrasi hasil pengukuran dan hasil pemodelan *self potential* untuk mengetahui pola aliran fluida panas.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui pola aliran fluida panas berdasarkan metode *Self Potential*.
2. Mengetahui kedalaman fluida panas berdasarkan persebaran pola alirannya menggunakan metode *Self Potential*.
3. Mengetahui integrasi hasil pengukuran dan hasil pemodelan *Self Potential* untuk mengetahui pola dan kedalaman aliran fluida panas.

1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Pengukuran *Self Potential* menggunakan konfigurasi *leap-frog*.
2. Pengukuran Tahanan Jenis menggunakan konfigurasi Dipole-dipole
3. Melakukan pemodelan *Self Potential* untuk komparasi anomali hasil pengukuran melalui inverse dan forward modelling.

1.5 Manfaat Penelitian

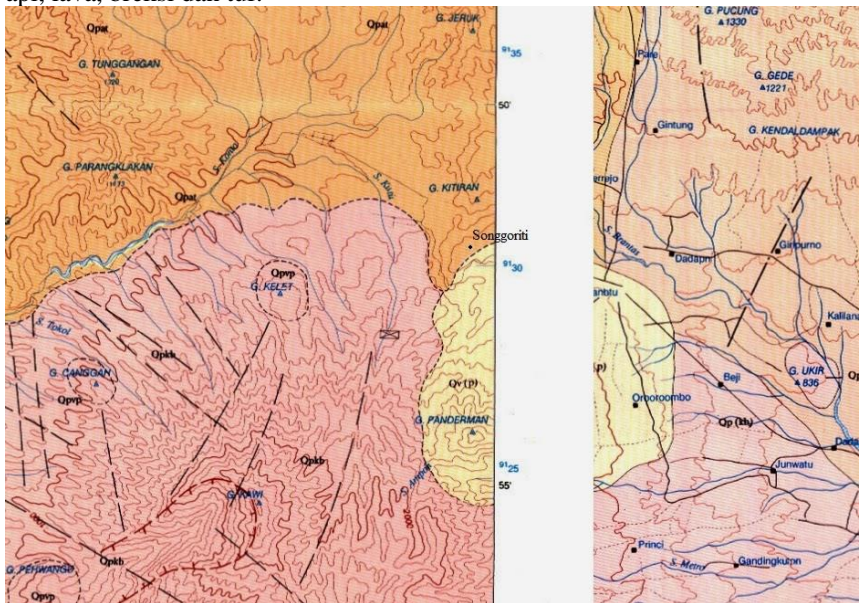
Manfaat yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Memahami metode *Self Potential* dan Tahanan Jenis sebagai salah satu metode untuk eksplorasi panas bumi.
2. Mengetahui pola persebaran dan kedalaman hidrotermal pada manifestasi panas bumi Songgoriti Kota Batu

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Batu

Secara umum geologi daerah Songgoriti terletak pada endapan vulkanik kuartar. Awal kegiatan didahului oleh aktivitas Gunung Anjasmara Tua (Qpat) yang diperkirakan berumur Plistosen Awal - Tengah. Hasil aktivitas ini menghasilkan breksi gunung - api, breksi tuf, tuf dan lava. Gunung Kawi - Butak (Qpvp) dan Gunung Arjuna Welirang (Qvaw). Hasil letusan Gunung Kawi - Butak berada di selatan songgoriti sedangkan hasil aktivitas Gunung Arjuna - Welirang berada di sisi timur dan utara songgoriti. Hasil letusan Gunung api Gunung Kawi - Butak (Qpvp) berupa lava andesit, tuf, dan breksi vulkanik. Sedangkan Gunung Arjuna- welirang (Qvaw) berupa breksi gunung api, lava, breksi dan tuf.



Gambar 2.1 Peta Geologi Songgoriti Batu; gabungan peta geologi lembar Malang (kanan) dan Kediri (kiri)

Daerah penelitian berada di daerah Songgoriti-Gunung Kawi dan sekitarnya, Malang, Jawa Timur. Daerah ini memiliki prospek panasbumi. Metoda geomagnet merupakan salah satu metoda geofisika yang digunakan pada eksplorasi panas bumi yang bertumpu pada pengukuran nilai kerentanan magnetik batuan, berperan dalam melokalisir zona prospek panasbumi.

Stratigrafi daerah penelitian terdiri atas Satuan Gunungapi Anjasmoro Tua (Qpat), Satuan Gunungapi Kawi-Butak (Qpkb), Satuan Gunungapi Parasitik Tua (Qvpv), dan Satuan Gunungapi Penderman (Qvp). Berdasarkan sifat kemagnetannya, batuan penyusun dari lapangan panasbumi Songgoriti adalah endapan piroklastik berupa tuff, lava, breksi vulkanik, dan andesit. Secara umum geologi daerah Songgoriti terletak pada endapan vulkanik kuartar. endapan ini berasal dari letusan gunung api kuartar. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kediri (Santosa dan Atmawinata, 1992) daerah Songgoriti berada di 3 kaki gunung yaitu Gunung Butak - Kawi, Gunung Arjuna Welirang dan Gunung Anjasmara Tua. Hasil aktivitas ke tiga gunung-api inilah yang mempengaruhi kondisi geologi daerah Songgoriti. Berdasarkan kejadian geologi yang terjadi di daerah songgoriti. Awal kegiatan didahului oleh aktivitas Gunung Anjasmara Tua (Qpat) yang diperkirakan berumur Plistosen Awal - Tengah. hasil aktivitas ini menghasilkan breksi gunung - api, breksi tuf, tuf dan lava. Kemudian pada Akhir Plistosen terjadi aktivitas vulkanisme di 2 gunung yaitu Gunung Kawi - Butak (Qvpv) dan Gunung Arjuna Welirang (Qvaw). Hasil letusan Gunung Kawi - Butak berada di selatan songgoriti sedangkan hasil aktivitas Gunung Arjuna - Welirang berada di sisi timur dan utara songgoriti. Hasil letusan Gunung api Gunung Kawi - Butak (Qvpv) berupa lava andesit, tuf, dan breksi vulkanik. Sedangkan Gunung Arjuna - welirang (Qvaw) berupa breksi gunung api, lava, breksi tufan dan tuf.

Pada umur Holosen kemudian diperkirakan terbentuk Gunung Panderman yang berada di selatan Songgoriti. Hasil endapan aktif Gunung Panderman (Qvp) ini berupa breksi gunungapi, tuf breksi, lava dan tuf. Ketiga gunung api inilah yang akan mempengaruhi potensi panas bumi di songgoriti - batu. struktur geologi yang mempengaruhi daerah ini berupa sesar - sesar mendatar di bagian selatan dan sebagian berupa sesar turun akibat dari letusan gunung api. sesar - sesar inilah yang membawa manifestasi dari dalam keluar permukaan. Menurut dinas ESDM Jawa Timur potensi panas bumi Songgoriti diperkirakan sebesar 25 MW. potensi ini merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh dinas ESDM Jawa Timur. Berdasarkan penelitian dinas ESDM diperkirakan potensi ini berada seluas 5 km². Dengan suhu permukaan berkisar antara 32 - 46 derajat celcius. Dari suhu permukaan itu diperkirakan temperatur reservoir / geotermal sebesar 140 derajat celcius. Secara umum potensi panas bumi songgoriti ini berasosiasi dengan kegiatan magmatisme vulkanisme yang berumur kuartar dan berada di kedalaman kurang dari 1,5 km. Sistem panas bumi ini dikenal dengan sistem hidrotermal.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sumber Self Potential

Dikatakan Potensial diri karena potensial dihasilkan dari dalam bumi dengan berbagai sumber melalui proses fisika dan kimia. Metode ini

bersifat pasif, dalam artian kita tidak memberikan sumber arus tambahan jadi pengukuran potensial diukur secara alamiah antara dua titik pada permukaan tanah. Potensial yang diukur mencakup satu milivolt (mV) sampai satu volt dengan tanda positif dan negatif. Perbedaan antara positif dan negatif ini merupakan faktor penting dalam menginterpretasikan anomali dari potensial dirit yang akan dijelaskan nanti.

Tabel 2.1 Sumber dan Tipe Anomali (Pusdiklat Minerba 2015)

Sumber	Tipe anomali
Mineral potential	
Sulphide ore bodies (pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena)	Negative = hundreds of mV
Graphite ore bodies	
Magnetite + other electronically conducting minerals	
Coal	
Manganese	
Quartz veins	Positive = tens of mV
Pegmatittes	
Bakcground potential	
Fluid Streaming, geochemical reaction etc.	Positive +/- Negative ≤ 100 mV
Bioelectric	Negative ≤ 300 mV or so
Ground water movement	Positive or negative up to hundreds of mV
Topography	Negative up to 2 mV

Faktor utama yang mempengaruhi potensial diri secara umum ialah air tanah. Potensial diproduksi oleh aliran air tanah, dengan berperan sebagai elektrolit dan pelarut dari mineral yang berbeda. Ada tiga cara dalam mengkonduksikan listrik melalui batuan yaitu dengan dielektrik, elektrolitik, dan konduksi elektronik. Konduktivitas listrik (σ , inversi dari resistivitas) dari batuan berpori bergantung pada porositasnya (bentuk pori-porinya) dan pada pergerakan air (atau cairan lainnya) melewati

celah pori-pori (bergantung pada sifat mobilitas ionik dan konsentrasi larutan, fiskositas (η), temperatur serta tekanan).

Berikut ini beberapa jenis anomali dari potensial diri yang ada berikut dengan struktur geologinya. Potensial alami didalam bumi terdiri dari 2 komponen yaitu komponen yang selalu konstan dan tidak memiliki arah dan komponen yang selalu berubah ubah terhadap waktu. Komponen yang konstan biasanya disebabkan oleh proses elektrokimia yang terjadi di bumi, kemudian komponen yang berubah-ubah disebabkan oleh berbagai macam proses yang menyebabkan adanya perbedaan potensial dari arus bolak balik yang induksikan oleh petir dan perbedaan medan magnet bumi yang juga dipengaruhi oleh curah hujan yang tinggi. Dalam eksplorasi mineral, komponen dari potensial diri yaitu potensial mineral dan potensial lingkungan (background potential).

Potensial alam atau potensial langsung (*spontaneous potential*) terjadi di bawah permukaan bumi yang disebabkan oleh aktivitas elektrokimia maupun aktivitas mekanik. Faktor yang mengontrol kedua kativitas tersebut adalah air bawah permukaan. Dimana potensial tersebut berhubungan dengan pelapukan dari tubuh mineral sulfida, keterdapatan mineral dari berbagai macam batuan di kontak geologi, aktivitas bioelektrik dari material organisme, korosi, suhu, dan gradien tekanan dalam fluida bawah permukaan, dan lainnya yang berhubungan dengan alam. Terdapat empat mekanisme yang menghasilkan potensial alam dengan satu mekanisme secara mekanik dan tiga mekanisme secara kimia.

Tabel 2.2 Macam-macam tipe potensial (Pusdiklat Minerba 2015)

Electrocinetic (electrofiltration) (electromechanical) (streaming)		Variable with time
Diffusion potential	Electrochemical potential	
Liquid-junction		
Nernst potential (shale)		
Mineral potential		Constant

2.2.2 Potensial Elektrokinetik (*Streaming Potential*)

Potensial elektrokinetik terjadi ketika terdapat sesuatu yang bergerak, dimana dalam hal ini yang bergerak adalah fluida (larutan elektrolit) di dalam pori-pori batuan dan fluida tersebut akan bergerak searah dengan arah arus listrik. Fluida yang bergerak di dalam pori-pori tersebut akan menghasilkan perbedaan tekanan hidrostatik, sehingga akan menghasilkan beda potensial listrik yang dapat dinyatakan dalam persamaan Helmholtz-Smoluchowski (Revil et al, 1996). Perlu diketahui, *streaming potential* dapat menyebabkan nilai anomali yang besar terhadap topografi sehingga daerah yang lebih tinggi umumnya memiliki nilai potensial yang lebih negatif. Aliran fluida pada bidang batas media dengan konstanta *streaming* berbeda juga mempengaruhi nilai potensial ini.

2.2.3 Potensial Difusi (*Liquid Junction*)

Potensial difusi akan timbul ketika dua elektroda metal dimasukkan kedalam dua larutan berkonsentrasi berbeda. Pada batuan, variasi konsentrasi elektrolit menghasilkan potensial difusi saat terjadi perbedaan pergerakan anion dan kation.

2.2.4 Potensial Lempung (*Nerst Potential*)

Potensial lempung dapat ditemukan pada lapisan lempung dengan muatan minus (-) atau terjadi saat dua buah elektroda yang identik dimasukkan ke dalam suatu elektrolit homogen dengan konsentrasi yang berbeda, dimana pada larutan tersebut tidak terjadi perbedaan potensial. Kombinasi dari potensial *nerst* (lempung) dan potensial difusi dikenal dengan potensial elektrokimia atau potensial statik.

2.2.5 Potensial Mineralisasi

Potensial mineralisasi secara analitik tidak bisa ditemukan penyebabnya, karena perilaku untuk logam yang berbeda akan menghasilkan potensial berbeda. Namun dapat dikatakan terjadi ketika dua logam sebagai elektroda berbeda dimasukkan ke dalam suatu larutan yang homogen sehingga terdapat perbedaan potensial antara elektroda tersebut yang dikenal dengan potensial kontak elektrolitik. Potensial kontak elektrolitik yang terjadi bersama dengan *streaming potential* dan potensial difusi merupakan penyebab yang belum diketahui dalam penentuan nilai anomali potensial yang besar dalam daerah mineralisasi dan disebut dengan potensial mineralisasi. Potensial mineralisasi secara khusus dapat ditemukan pada daerah dengan keterdapatannya sulfida, grafit, dan magnetit. Secara umum, nilai ratusan milivolt dan potensial yang besar dari 1 volt ditemukan pada daerah

grafit serta alunit. Nilaimagnitudo yang besar dalam potensial mineralisasi tidak dapat dihubungkan hanya dengan potensial elektrokimia yang dijelaskan sebelumnya. Keberadaan mineral logam dalam konsentrasi yang cukup akan terlihat pada kondisi tertentu, namun belum ditemukan mekanisme yang tepat secara jelas untuk meng gambarkannya.

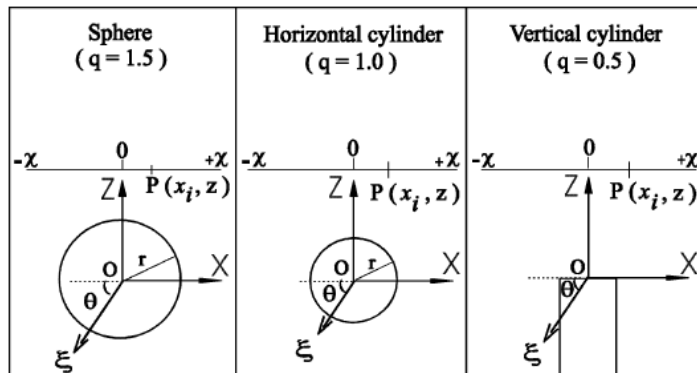
2.2.6 Pemodelan Kedepan (*Forward Modeling*) untuk Metode Self Potensial

Pemodelan ke depan (*forward modeling*) merupakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi. Apabila diketahui parameter model bawah permukaan tertentu maka melalui proses pemodelan ke depan dapat dihitung data yang secara teoritik akan teramati di permukaan bumi. Konsep tersebut digunakan untuk menginterpretasi data geofisika. Jika respon suatu model cocok/sesuai dengan data, maka model yang digunakan untuk memperoleh respon tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di lokasi pengukuran. (Makhrani, 2013)

Anomali SP pada umumnya dihasilkan dari struktur yang paling terpolarisasi sepanjang profil utama diatas tubuh anomali yang diberikan oleh persamaan (2.1) pada titik P (x_i, z) (Gambar 2.2). (Yungul, 1950; Bhattacharya dan Roy 1981; Satyanarayana Murty dan Haricharen, 1985; Abdelrahman et al., 1997)

$$V(x_i, z, \theta, q) = k \frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{(x_i^2 + z^2)^q}, \quad (2.1)$$

Untuk (2N+1) titik dan $i=-N, \dots, -1, 0, 1, \dots, N$.



Gambar 2.2 Tampilan penampang untuk anomali SP *sphere*, *horizontal cylinder*, dan *vertical cylinder* (El-Araby, 2003)

Anomali SP yang dihasilkan oleh *sphere*, *vertical cylinder*, dan *horizontal cylinder* di setiap titik pada permukaan bebas sepanjang profil utama dalam Sistem Koordinat Kartesian yang masing-masing diberikan oleh persamaan (2.2), (2.3), (2.4):

$$V(x_i) = (kz^2) \left(\frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{(x_i^2 + z^2)^{3/2}} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.2)$$

$$V(x_i) = (k) \left(\frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{(x_i^2 + z^2)^{1/2}} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.3)$$

$$V(x_i) = (kz) \left(\frac{x_i \cos \theta + z \sin \theta}{x_i^2 + z^2} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (2.4)$$

Dimana,

z = kedalaman dari permukaan ke pusat tubuh anomali,

θ = sudut polarisasi,

k = momen dipol listrik (besarnya polarisasi), dan

x_i ($i = 1, \dots, N$) = posisi koordinat horizontal. (Dehbashi, 2014)

2.6.7 Pemodelan Kebelakang (*Inverse Modeling*) untuk Metode Self Potensial

Teori inversi didefinisikan sebagai suatu kesatuan teknik atau metode matematika dan statistika yang bertujuan untuk memperoleh informasi parameter model yang berguna dalam suatu sistem fisika yang pada hal ini fenomena yang ditinjau yaitu berdasarkan observasi terhadap sistem. Dalam proses inversi, harus terdapat proses modifikasi model agar diperoleh kesesuaian optimal antara data perhitungan dan pengamatan. Pemodelan jenis ini juga dinamakan *data fitting* karena dalam prosesnya yang dicari adalah parameter model yang menghasilkan respons yang sesuai dengan data pengamatan.

Kesesuaian antara respons model dengan data pengamatan secara umum dinyatakan dalam suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Proses pencarian minimum fungsi objektif tersebut berasosiasi dengan proses pencarian model optimum. (Makhrani, 2013)

Inversi pada kasus ini menggunakan metode *least square*. Metode *least square* merupakan suatu teknik penyelesaian permasalahan yang penting dan dimanfaatkan dalam bidang aplikasi. Metode ini banyak digunakan untuk mencari atau mengetahui adanya hubungan atau korelasi di antara dua variabel. Metode *least square* diperlukan untuk melakukan analisa apakah terdapat hubungan di antara dua variabel yang ditinjau, seberapa

kuat hubungan yang terjadi. Langkah-langkah untuk inversinya adalah sebagai berikut.

- Untuk semua bentuk sumber anomali yang berupa fungsi dari q , persamaan (2.1) memberikan hubungannya pada lokasi asal anomalnya ($x_i=0$):

$$V(0) = k \frac{\sin \theta}{z^{2q-1}} \quad (2.5)$$

Dimana $V(0)$ adalah nilai anomali di lokasi asalnya (*origin*), oleh karena itu:

$$k = V(0) \frac{z^{2q-1}}{\sin \theta} \quad (2.6)$$

- Nilai k pada persamaan (2.1) diganti dengan persamaan (2.6) untuk mengeliminasi nilai k yang tidak diketahui serta menggunakan nilai $V(0)$ di lokasi asal pengukuran sehingga persamaannya menjadi:

$$V(x_i, z, \theta, q) = V(0) z^{2q-1} \frac{x_i \cot \theta + z}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.7)$$

- Nilai lain yang diperlukan yaitu dua data observasi ($x_i = -s$ dan $x_i = s$), dimana $s=1,2,...,M$ dalam satuan unit. Kedua nilai yang diketahui ini $V(s)$ dan $V(-s)$ digunakan untuk mengeliminasi jumlah parameter yang tidak diketahui di persamaan (2.7) (z , θ , q) hingga menyisakan satu parameter yaitu q . Dengan menggunakan persamaan (2.9), maka anomali SP pada kedua titik ini adalah:

$$V(s) = V(0) z^{2q-1} \frac{s \cot \theta + z}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.8)$$

$$V(-s) = V(0) z^{2q-1} \frac{-s \cot \theta + z}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.9)$$

- Dari persamaan (2.1), (2.8), dan (2.9), didapatkan dua hubungan berikut:

$$F = \frac{z^{2q}}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (2.10)$$

$$\text{Dimana: } F = \frac{[V(s)+V(-s)]}{[2V(0)]} \quad (2.11)$$

$$P = \frac{z^{2q-1}}{(x_i^2 + z^2)^q} \cot \theta \quad (2.12)$$

$$\text{Dimana: } P = \frac{[V(s)-V(-s)]}{[2V(0)]} \quad (2.13)$$

F dan P adalah dua variabel yang diketahui yang dihitung menggunakan nilai anomali SP pada 3 titik observasi dimana $x = 0$ dan $x = \pm s$ yang bertujuan untuk menggabungkan solusi untuk q sebagai ganti dari nilai z dan θ yang tidak diketahui.

- Dari persamaan (2.10) dan (2.12), didapatkan persamaan terpisah untuk z dan θ :

$$z = \sqrt{\frac{s^2 F^{1/q}}{1 - F^{1/q}}} \quad (2.14)$$

$$\cot \theta = \frac{P}{sF} \sqrt{\frac{s^2 F^{1/q}}{1-F^{1/q}}} \quad (2.15)$$

- Substitusi persamaan (2.14) dan (2.15) ke dalam persamaan (2.7), didapatkan persamaan nonlinear pada q seperti yang ditunjukkan di Lampiran 1.

$$V(x_i, q) = V(0)W(x_i, q) \quad (2.16)$$

$$\text{Dimana: } W(x_i, q) = s^{2q-1} \frac{x_i^P + sF}{[x_i^2 + F^{1/q}(s^2 - x_i^2)]^q} \quad (2.17)$$

- Nilai *shape factor* (q) yang tidak diketahui di persamaan (2.16) dapat diperoleh dengan meminimalkan:

$$\phi(q) = \sum_{i=-N}^N [Y(x_i) - V(0)W(x_i, q)]^2 \quad (2.18)$$

$Y(x_i)$ menunjukkan anomali pengukuran SP pada titik observasi x_i . Meminimalkan $\phi(q)$ dalam metode least squares memerlukan turunan dari $\phi(q)$ dengan q sama dengan nol sehingga didapatkan persamaan berikut:

$$f(q) = \sum_{i=-N}^N [Y(x_i) - V(0)W(x_i, q)]W'(x_i, q) = 0 \quad (2.19)$$

$$\text{Dimana: } W'(x_i, q) = \frac{d}{dq} W(x_i, q) \quad (2.20)$$

- Persamaan (2.19) dapat diselesaikan untuk mengetahui nilai q dengan metode standar untuk menyelesaikan sistem persamaan nonlinear. Pertama, persamaan (2.19) ditransformasikan kedalam bentuk $q = f(q)$ seperti yang ditunjukkan di Lampiran 2 untuk mendapatkan persamaan berikut:

$$q = \frac{\sum_{i=-N}^N V(0)W^2(x_i, q) \left\{ \frac{(s^2 - x_i^2)^{F^{1/q} \ln F}}{a} \right\}}{\sum_{i=-N}^N Y(x_i)W'(x_i, q) - \sum_{i=-N}^N V(0)W^2(x_i, q) \ln \left\{ \frac{s^2}{a} \right\}} \quad (2.21)$$

Perbandingan antara ketiga sumber anomali dihitung didasarkan pada parameternya menggunakan *root mean square error* (RMS). RMS ini mengukur seberapa sesuai respon model yang dihitung dengan data hasil pengukuran. RMS juga memiliki satuan yang sama dengan anomali SP. Nilai yang terendah dipilih untuk menunjukkan parameter hasil perhitungan yang dapat dipercaya.

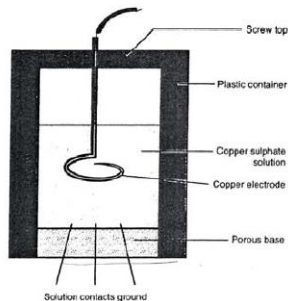
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [Y(x_i) - V(x_i, z, \theta, q)]^2}{2N+1}} \quad (2.22)$$

(El-Araby, 2003)

Dimana $Y(x_i)$ adalah nilai anomali SP hasil pengukuran sedangkan V adalah nilai anomali SP hasil perhitungan. (Hazra, 2010)

2.6.8 Pengukuran Metode *Self-Potential*

Pengukuran self-potential sangatlah mudah. Dua porous potelektroda yang tidak berkutub dihubungkan pada mulitmeter dengan impedansi input lebih besar dari 108ohm dan mampu mengukur paling kecilnya 1 mV. Masing masing elektroda dibuat dari elektroda tembaga yang dicelupkan pada larutan tembaga sulfide yang dapat menyerap melalui porous base pada pot, agar dapat mengalami hubungan listrik dengan tanah. Alternatif lainnya, dapat digunakan elektroda seng yang mengandung sulfida seng atau perak pada perak klorida.(Reynold)



Gambar 2.3 Porouspot terdiri dari; komponen berupa (1)logam konduktor, (2)tabung berpori, dan (3) larutan CuSO_4

Ada dua teknik pengambilan atau pengukuran SP yakni metode gradien potensial dan metode amplitudo potensial. Metode gradien potensial menggunakan dua elektroda dengan berpindah-pindah pada jarak yang tetap, sekitar 5m atau 10 m. Titik yang menjadi pengamatan adalah titik tengah diantara kedua elektroda dengan satuan mV/m. Berbeda dengan metode pertama, metode kedua yaitu metode amplitudo potensial dengan membiarkan satu elektroda tetap di base pada tanah yang bukan mineral dan juga disertai dengan mengukur perbedaan potensial (mV) dengan porous pot kedua berpindah pindah sepanjang garis acuan pada jarak yang tetap. Perlu untuk dicatat adalah temperatur elektrolit pada pot yang bergerak agar tidak terlalu berbeda dari elektroda acuan. Koefesien temperatur untuk tembaga tembaga sulfat sekitar 0,5 mV/oC (sekitar 0,25 mV/oC untuk elektroda perak perak klorida).

Seperti yang telah disebutkan diatas, potensial diri mengandung komponen alternatif yang tetap dan berubah-ubah. Potensial diri dapat

memiliki frekuensi sekitar 5-10 Hz yang disebabkan oleh efek moneter dan periode yang lama dan mungkin juga mendapatkan amplitudo yang sama dengan potensial mineral. Ketika signal ditampilkan, potensial mineral dapat dipecahkan dengan mengukur sepanjang profil yang sama pada waktu dan hari yang berbeda. Gangguan listrik dapat juga terjadi jika pengukuran dibuat segera setelah hujan berat atau lebih dekat dengan permukaan air. Kedalaman maksimum sensitivitas dari metode SP adalah sekitar 60-100 m, bergantung pada bijih mineral dan lapisan penutup (overburden) alamiah.

Pengukuran potensial diri dapat juga dibuat diatas air untuk mengukur arus potensial. Elektroda porous pot dimasukkan pada kontainer supaya dapat melalui air tanpa menyebabkan kehilangan elektrolit yang dari elektroda tersebut. Metode 16 ini hanya dapat bekerja jika arus aliran yang kecil (lateral of vertical) dengan water column (Ogilvy et al.1969), Amplitudo dari setiap anomali SP yang diperoleh dengan water body yang bergaram (resistivitas 0,3 – 1 Ω m) cenderung mengecil.

2.6.9 Interpretasi Anomali *Self-Potential*

Anomali SP sering diinterpretasikan secara kualitatif melalui bentuk profil, amplitudo, polaritas, dan pola kontur. Bagian atas dari bijih mineral diasumsikan langsung berada dibawah posisi potensial minimum atau maksimum. Jika sumbu polarisasi yaitu sumbu diantara katoda dan anoda pada bijih mineral adalah miring/ lereng dari garis vertikal, bentuk profil akan menjadi asimetrik dengan kemiringan yang curam dan juga positif mengikuti keduanya berada pada sisi bawah

Kesulitan akan muncul ketika lebih dari dua sifat geologi memberikan pengaruh besar pada anomali SP baik itu kenaikan atau penurunan yang saling melapisi. Anomali melebihi graphitic phyllities memiliki karakter sebagian besar (-740 mV) kurang dari mineral elektrokimia potensial. Anomali kedua (-650mV) telah dihasilkan oleh elektrokinetik potensial yang berhubungan dengan arus air melalui permeabel yang terpisahkan oleh timbunan (conglomerates). Walaupun demikian, jika ukuran yang sama terjadi berbeda dip (penukikannya), resultan anomali dapat digunakan untuk memecahkan persoalan diantara keduanya.

Interperetasi selanjutnya adalah bagaimana memperkirakan bentuk dari bijh besi dibandingkan dengan bentuk geometri yang telah kita ketahui biasanya bentuk bola atau silinder dengan asumsi arah polarisasi tertentu. Pendekatan langsung dilakukan dengan menghitung potensial listrik yang berkaitan dengan model kemudian dibandingkan

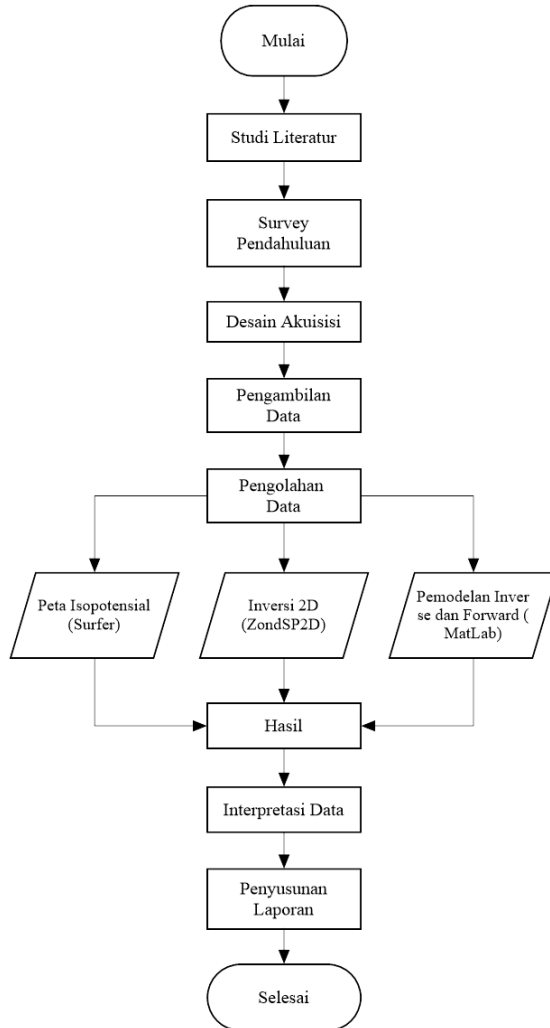
dengan anomali yang diamati. Dasar teori interpretasi anomali SP secara kuantitatif pada bola yang berpolarisasi disumbangkan oleh Petrovski (1928) dan dikembangkan oleh De Witte (1962) diatas batangan oleh Stern (1945) dan diatas plat tipis oleh Meiser (1962). Bentuk lain dari model dan metode revisi dari perhitungan telah dikembangkan oleh (e.g Hongisto 1993). Metode selanjutnya disesuaikan sampai dua bentuk anomali tersebut sesuai dengan batas statistik yang telah ditentukan, metode ini bekerja untuk data yang sangat terbatas, jika corak geologi yang ada menyebabkan SP anomali takkan dapat menyesuaikan diri pada bentuk geometri yang diberikan, akan terjadi masalah yaitu semakin rumitnya pengolahan secara matematik dan juga metode numerik sehingga sangatlah diperlukan pengolahan datanya dengan komputer (Fitterman 1979).

Pendekatan inversi digunakan untuk memanipulasi anomali observasi untuk menghasilkan model. Model tersebut akan digunakan untuk memperkirakan ukuran corak geologi, lebih detail pada investigasi geologis dan geofisika (Sill 1983). Pendekatannya adalah dengan mengasumsikan bahwa corak geologi menyesuaikan diri dengan bentuk geometri yang diberikan. Untuk kedalaman pada pusat anomali boleh diperkirakan dengan menggunakan teknik *half width*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar, tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian ini digambarkan pada diagram alir berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dijelaskan dengan uraian sebagai berikut :

a. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah akuisisi dan pengolahan data self potential sehingga dapat teridentifikasi pola aliran hidrotermal.

b. Studi Literatur

Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur yang akan dilakukan meliputi:

i. Studi literatur mengenai geologi regional Batu

ii. Studi literatur mengenai pengolahan data self potential

iii. Studi literatur mengenai pola aliran fluida panas dalam sistem panas bumi

c. Akuisisi dan Pengolahan Data

Dalam tahapan ini akan dilakukan akuisi self potential menggunakan teknik *leap-frog* sehingga dapat dilakukan pengolahan data menggunakan surfer, dan MatLabAnalisa Hasil Pengolahan

Setelah dilakukan pengolahan maka dapat dilakukan analisa hasil pengukuran dan pemodelan pola aliran fluida manifestasi hidrotermal Songgoriti. Hasil dari ketiga pengolahan akan dilakukan korelasi dan komparasi hasil pemodelan sehingga dapat ditentukan pola aliran fluida pada daerah penelitian.

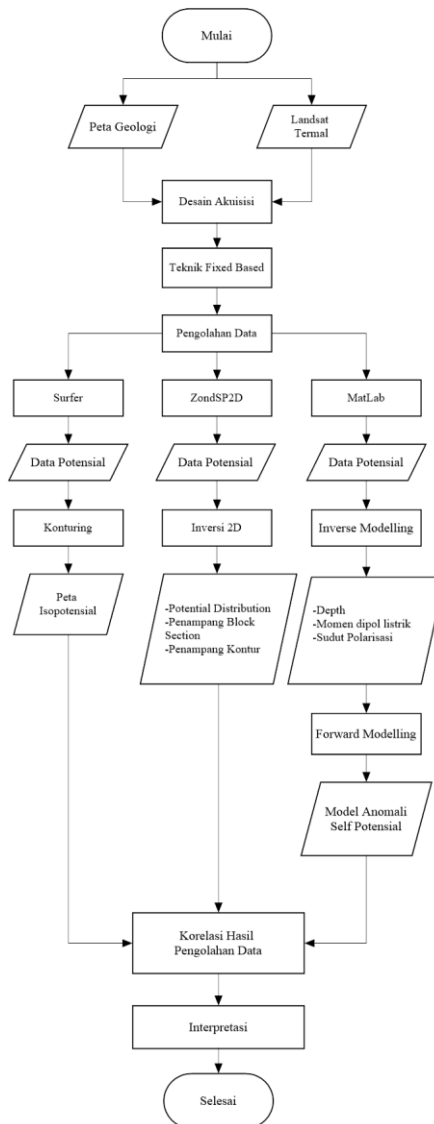


Gambar 3.2

Desain Pengukuran ; titik pengukuran berjumlah 100 dengan teknik akuisisi menggunakan teknik *leap-frog* (Peta Google Earth)

3.2 Diagram Alir Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian ini dapat digambarkan pada diagram alir berikut :



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengolahan Data

Diagram alir pengolahan data dijelaskan dengan uraian sebagai berikut :

a. Pengolahan Surfer

Dalam pengolahan surfer input merupakan nilai potensial hasil pengukuran (mV), sebaran titik pengukuran menjadi acuan koordinat sehingga dapat dilakukan konturing peta isopotensial. Peta isopotensial dapat digunakan untuk analisa sebaran fluida panas dari perbedaan nilai potensial yang dihasilkan.

b. Pengolahan MatLab

Dibuat suatu program dengan input nilai potensial, prosesnya dimulai dari pembuatan program untuk forward modelling yang selanjutnya dimasukkan input data hasil pengukuran untuk metode *self-potential* dengan keluaran model anomali. Kemudian dibuat program untuk inverse modelling dengan input berupa data dari forward modelling. Keluaran yang dihasilkan berupa model dengan parameter kedalaman, momen dipol listrik, dan sudut polarisasi.

c. Pengolahan Inversi 1D

Program MATLAB dilakukan untuk permasalahan interpretasional inversi 1D. Input data observasi dengan tiga sumber anomali: model sumber *sphere*, model sumber *horizontal cylinder*, dan model sumber *vertical cylinder*.

d. Pengolahan Inversi 2D

Inversi 2D dilakukan untuk mengetahui penampang bawah permukaan serta letak kedalaman anomali. Data observasi dimodelkan untuk mendapatkan profil model 2D yang mendekati profil asli data observasi, selanjutnya dilakukan proses inversi menggunakan metode Marquardt.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data hasil pengukuran di daerah manifestasi hidrotermal Songgoriti, Kota Batu. Data berupa beda potensial dari hasil survey *self-potential* menggunakan teknik *leapfrog* dengan jumlah titik sebanyak 100 titik pengukuran. Alat dan bahan yang digunakan dalam survey *self potential* adalah :

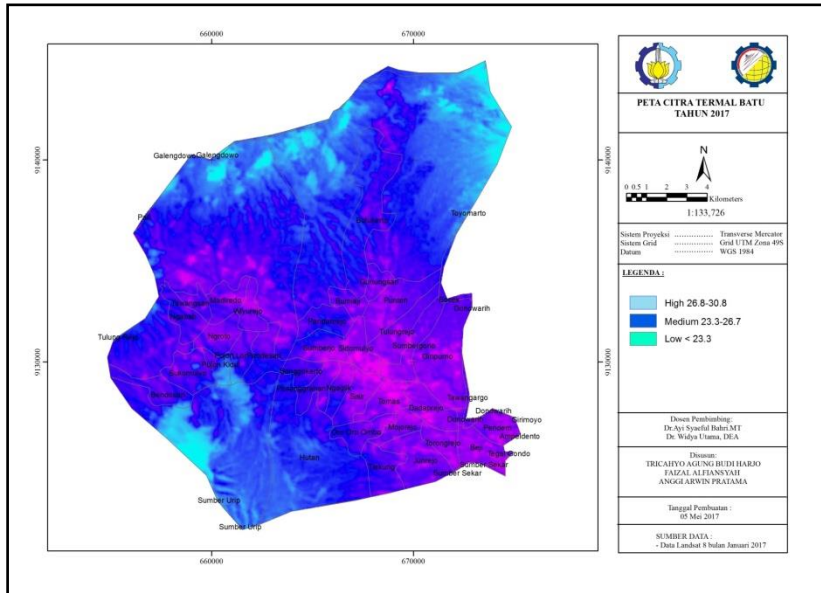
1. Porouspot 4 buah
2. Multimeter
3. Larutan CuSO₄
4. Palu geologi 4 buah
5. HT 4 buah
6. GPS 2 buah
7. Meteran jalan
8. Meteran Gulung
9. Peta geologi lembar kediri dan lembar malang
10. Laptop 1 buah
11. Kompas Geologi

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Citra Landsat

Data citra yang digunakan pada penelitian ini adalah band 4,5,7 dan 11. Untuk memperoleh informasi geomorfologi dilakukan komposit pada band 4,5,7 sedangkan untuk memperoleh citra termal digunakan band 11 yang dikoreksi atmosfer terlebih dahulu untuk menghilangkan pengaruh atmosfer dalam wilayah termal. Untuk menentukan titik batuan teralterasi maka dilakukan komposit band 7,4,2 .

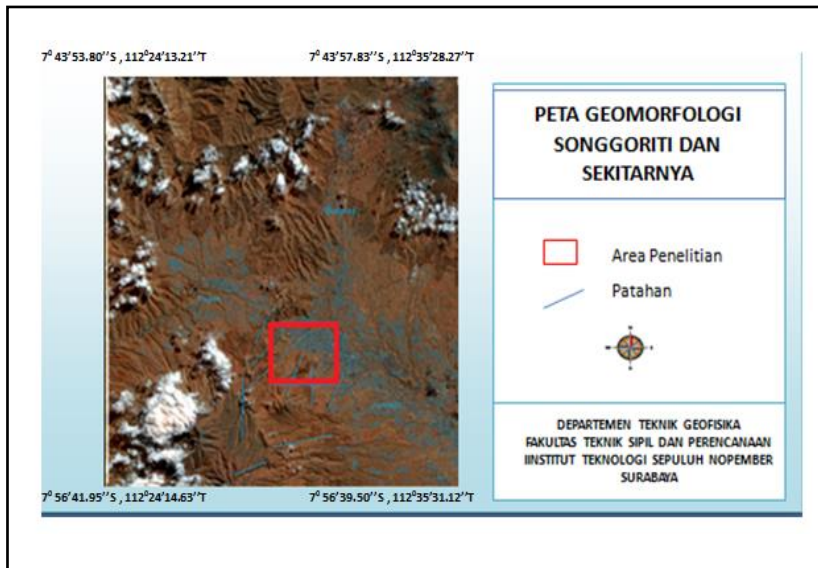


Gambar 4.1 Citra landsat band 11 temperatur permukaan; menampilkan persebaran temperatur permukaan kota Batu

Data yang digunakan untuk memetakan temperatur tanah adalah band 11. Dalam mengidentifikasi suhu permukaan, gelombang yang digunakan adalah gelombang thermal. Dalam landsat 8, band thermal terdapat pada band 10 dan 11. secara teknis band 10 merupakan band yang biasa digunakan dalam proses pengolahan suhu permukaan darat. Sedangkan band 11, berdasarkan beberapa publikasi jurnal yang ada, band ini kurang memiliki akurasi yang tinggi dalam mengestimasi nilai suhu permukaan dibandingkan band 10. Resolusi spasial dari kedua band ini adalah 30 meter, hal ini merupakan suatu perbaikan pada band thermal pada versi landsat generasi sebelumnya yang

hanya memiliki resolusi 60 meter saja. Sensor termal merekam energi pancaran bukan energi kinetik. Energi pancaran benda lebih kecil daripada energi kinetiknya. Nilai temperatur akhir yang didapatkan pada pengolahan band 11 (termal) ini memiliki rentang $11,7164^{\circ}\text{C}$ - $30,084^{\circ}\text{C}$. Daerah di sekitar manifestasi memiliki pancaran temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah sekitarnya yaitu pada daerah A (Gambar 4.2). Untuk meminimalkan ambiguitas citra termal maka dilakukan korelasi dengan peta geologi. Daerah yang memiliki struktur patahan diidentifikasi sebagai daerah yang menjadi media manifestasi ke permukaan. Disekitar patahan (A) terdapat pancaran temperatur tinggi yang ditunjukkan oleh tanda kotak merah (Gambar 4.2).

Pembuatan citra komposit untuk geomorfologi daerah penelitian menggunakan saluran band 457 RGB. Saluran ini digunakan karena saluran Path 120/65 5 band ini bekerja pada gelombang inframerah tengah yang aplikasinya diarahkan untuk pemetaan geologi maupun struktur geologi.



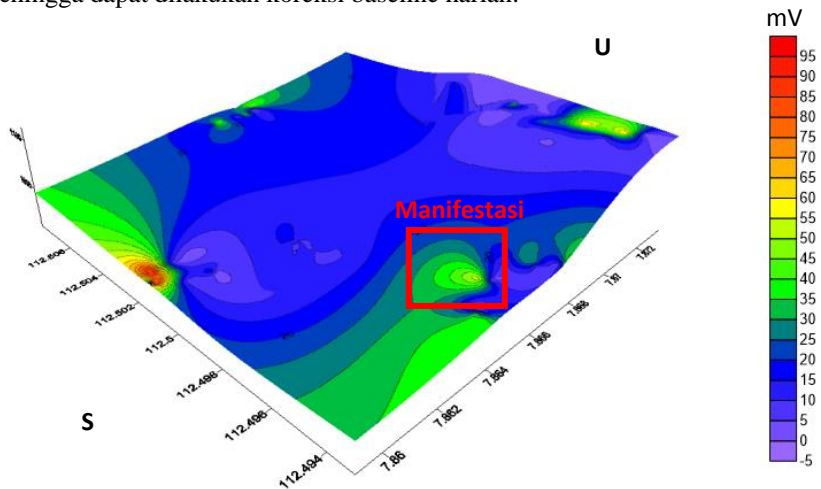
Gambar 4.2 Citra landsat Geomorfologi; menampilkan karakteristik geomorfologi kota Batu

Pada citra landsat geomorfologi terlihat adanya kontras warna pada batuan dan diasumsikan sebagai patahan. Terdapat patahan dominan yang berasosiasi dengan aktivitas vulkanisme gunung Butak dan Panderman. Patahan tersebut

diasumsikan sebagai media keluarnya manifestasi fluida panas dari system panas bumi.

4.2 Hasil Pengukuran *Self-Potential* 2D

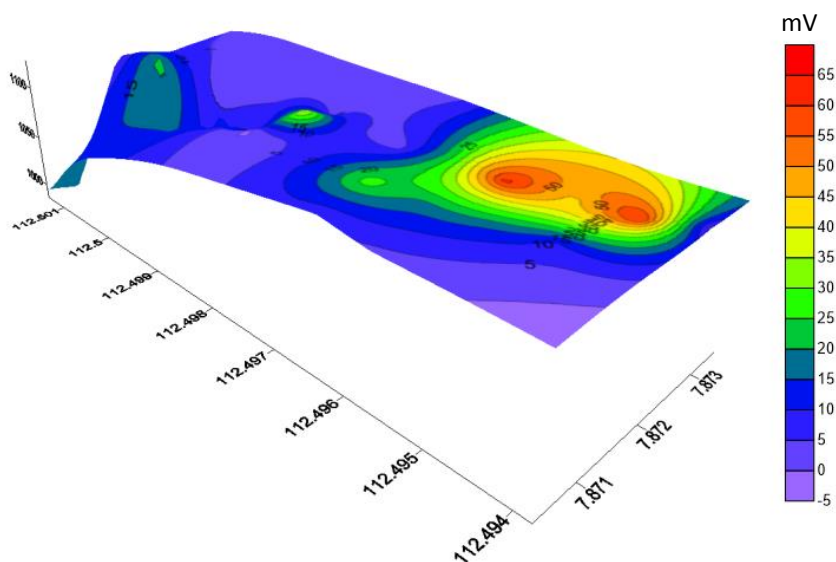
Pengukuran *Self-Potential* dilakukan pada daerah penelitian secara pemetaan *Self-Potential* 1D dan 2D. Untuk pengukuran SP 2D menggunakan teknik *leap-frog* dengan titik akuisisi menyebar pada area penelitian. Akuisisi 2D menggunakan jarak 10 meter tiap titik dengan jumlah titik akuisisi sebanyak 100 titik. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan pedoman base yang ditanam pada satu titik sehingga selama melakukan pengukuran dapat dilakukan koreksi nilai SP berdasarkan waktu, dikarenakan nilai SP akan berubah-ubah pada setiap waktu karena beda potensial yang dihasilkan bumi dipengaruhi potensial elektrokinetik, elektrokimia dan mineralisasi bawah permukaan. Nilai SP pada base berubah bervariasi selama proses akuisisi data sehingga dapat dilakukan koreksi baseline harian.



Gambar 4.3 Peta Isopotensial; persebaran nilai beda potensial pada daerah penelitian: Songgoriti, Kota Batu

Persebaran nilai SP yang telah dilakukan koreksi diolah menjadi peta isopotensial (Gambar 4.3) yang menggambarkan persebaran nilai SP pada area penelitian. Berdasarkan analisa data diperlihatkan adanya adanya anomali di daerah ini. Nilai isopotensial yang terbaca pada daerah ini berkisar pada nilai -5 mV sampai dengan 95 mV. Acuan nilai SP fluida panas yaitu sekitar 65 – 80 mV, didapatkan melalui sampe pengukuran SP diatas zona manifestasi. Pada daerah anomali yakni daerah dengan tonjolan besar nilai potensialnya -5

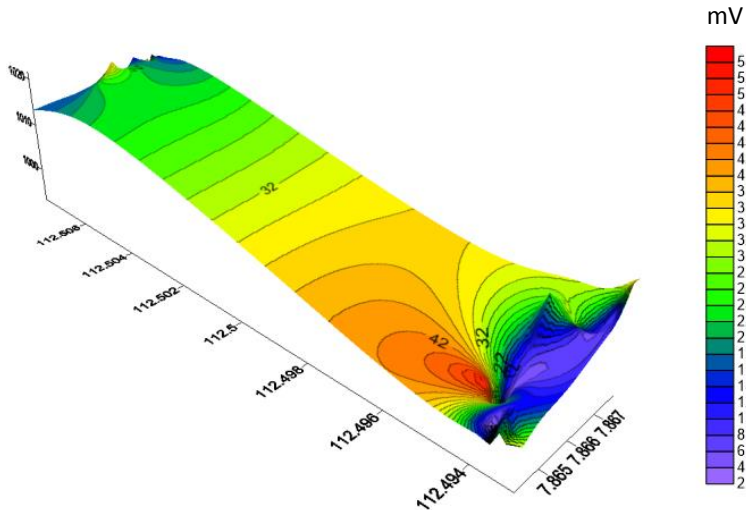
sampai dengan -12 mV. Nilai potensial yang sangat kecil mengindikasikan daerah yang konduktif. Berdasarkan peta kontur isopotensial yang telah dibuat dapat diinterpretasi bahwa daerah penelitian adalah zona konduktif. Zona anomali potensial paling negatif ditemukan di kawasan selatan hingga barat daya daerah penelitian dengan nilai potensial diri mencapai 90 mV. Hal ini mengindikasikan bahwa di zona tersebut kemungkinan terdapat sumber aliran fluida panas bawah permukaan yang cukup dangkal. Hasil pengukuran data SP menunjukkan bahwa pengukuran aliran fluida panas cenderung bersifat resistif yang ditunjukkan oleh nilai SP yang relative sedang (nilai SP maksimum sekitar 95 mV). Pada jarak sekitar zona titik tengah nilai SP terukur sangat kecil dan bersifat resistif. Aliran air panas dari reservoir cenderung mengalir dari barat ke timur (arah atas menandakan arah utara). Hasil pengukuran data SP menunjukkan bahwa pengukuran cenderung bersifat resistif yang ditunjukkan oleh nilai SP yang relative sedang (nilai SP maksimum sekitar 95 mV). Aliran air panas dari manifestasi cenderung mengalir dari barat ke timur.



Gambar 4.4 Peta Isopotensial pada zona manifestasi; nilai beda potensial tinggi berpusat pada zona manifestasi

Pada zona manifestasi didapatkan rentang nilai -5 – 65 mV. Pada titik yang tepat diatas kandungan fluida panas nilai SP terukur sebesar 65 mV sehingga dapat diasumsikan nilai SP pada fluida panas dapat digunakan acuan dalam identifikasi persebaran disekitar area tersebut.

Interpretasi secara kuantitatif dipakai untuk menentukan parameter dari benda sehingga didapatkan kedalaman serta sudut polarisasi. Keberadaan mata air panas (hot springs) di daerah Songgoriti hidrotermal merupakan indikasi kemungkinan adanya suatu sistem geotermal. Perubahan fisika batuan reservoir seperti porositas dan permeabilitas dapat terjadi karena alterasi hidrotermal, sedangkan pengaruh dari alterasi hidrotermal adalah menurunkan porositas.

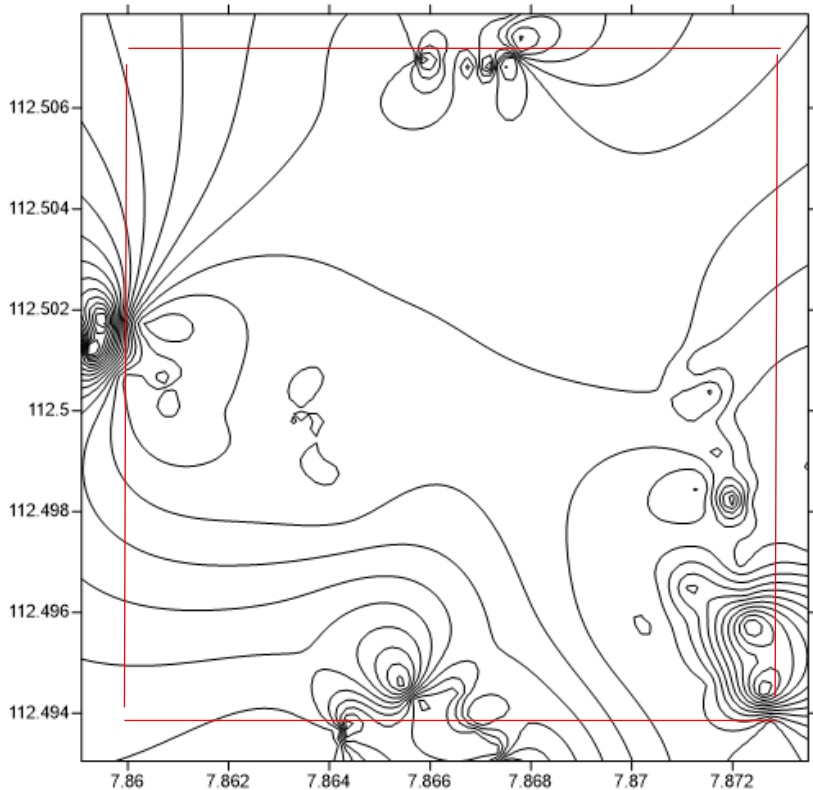


Gambar 4.5 Peta Isopotensial Anomali Area Utara; persebaran anomali yang berprospek adanya aliran fluida panas

Gambar 4.4 terletak pada topografi lebih tinggi daripada area manifestasi sehingga diasumsikan terdapat zona upflow aliran fluida panas. Namun pada topografi tinggi ketinggian topografi atau perubahan elevasi akan berpengaruh juga terhadap "*arus telluric*". Kombinasi kedua efek terhadap anomali SP akan sulit dilakukan tetapi secara umum koreksi terhadapnya dapat dilakukan.

4.3 Pemodelan Inversi 1 Dimensi

Pemodelan satu dimensi pada anomali SP dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter berupa kedalaman, sudut polarisasi, dan momen dipol listrik. Pemodelan dilakukan dengan mengutip nilai potensial dari beberapa titik anomali pada peta isopotensial.



Gambar 4.6 Line anomali inversi satu dimensi; beberapa line anomali diambil untuk inversi 1D dengan output parameter fisis

Program MATLAB diaplikasikan pada data penelitian untuk mendapatkan parameter-parameternya. Profil anomali ini didigitasi sebanyak 20 titik dengan interval 40 m. Selanjutnya, proses dilakukan inversi dengan melakukan pendekatan untuk ketiga bentuk sumber anomali (*sphere*, *horizontal cylinder*, dan *vertical cylinder*) dan perhitungan nilai *RMS error*. Hasil dari proses inversinya menunjukkan bahwa model *sphere* yang paling mendekati kondisi sekunder (sebenarnya) karena memiliki nilai *RMS error* terkecil.

Parameter hasil pemodelan 1D mengindikasikan letak kedalaman anomali berupa *potential streaming*. Aliran fluida panas dengan indikasi nilai potensial tinggi dengan asumsi zona alterasi yang bersifat konduktif mengandung fluida panas sehingga kedalaman anomali merupakan indikasi

penyebaran fluida panas mengalir pada kedalaman lebih dalam pada arah utara-timur dikarenakan zona upflow berada pada anomali 3. Aliran pada arah utara-timur terletak pada kedalaman 100-160 m, sesuai kondisi geologi daerah penelitian menunjukkan patahan sebagai pengontrol zona upflow hanya terdapat pada area anomali 1 dan 3.

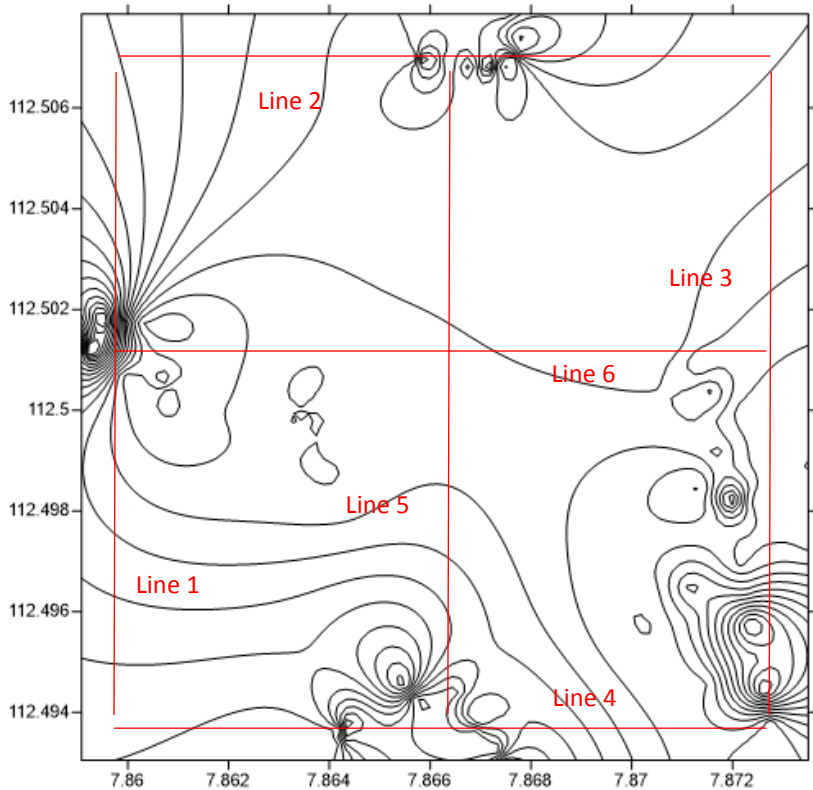
Tabel 4.1 Parameter hasil inversi 1D

No.	Line Anomali	Shape Factor	Kedalaman	Sudut Polarisasi	Error
1.	Anomali 1	0.98	82.1 m	-76.4	3.4
2.	Anomali 2	1.0	158.0 m	-85.9	5.8
3.	Anomali 3	1.4	108.4 m	72.4	2.6
4.	Anomali 4	0.4	78.2 m	42.8	10.3

Hasil pemodelan ini hanya menghasilkan analisa sebatas pada beberapa line anomali, sehingga untuk menentukan pola persebaran aliran fluida panas dan potensinya dilakukan inversi serta pemodelan 2D dan 3D.

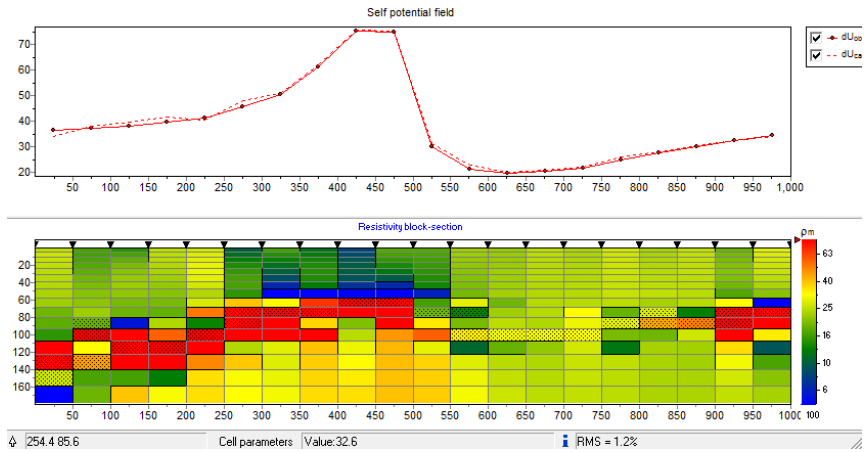
4.4 Pemodelan *self-potential* Inversi 2D

Suatu penampang bawah permukaan diperlukan dalam penentuan letak dan kedalaman anomali indikasi fluida panas pada data *self-potential*. Pemodelan dilakukan dengan pembuatan model tebakan dan letak kedalaman anomali pada software ZondSP2D pada 6 line. Hasil pemodelan dikatakan benar jika grafik hasil pemodelan sesuai atau mendekati grafik hasil pengamatan dengan parameter error yang dihasilkan.



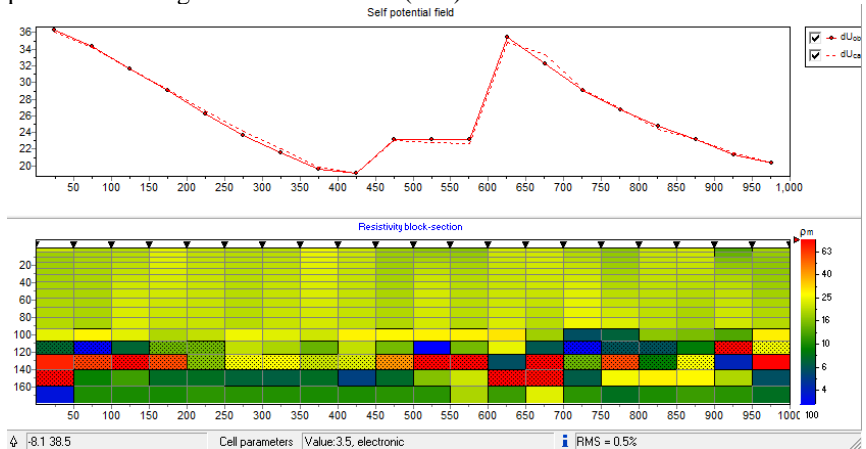
Gambar 4.7 Line anomali inversi dua dimensi; inversi dua dimensi untuk mendapatkan profil anomali bawah permukaan

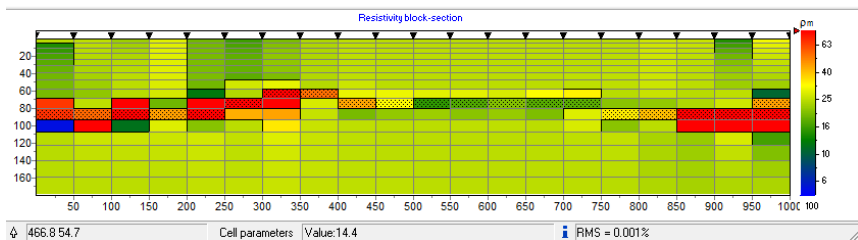
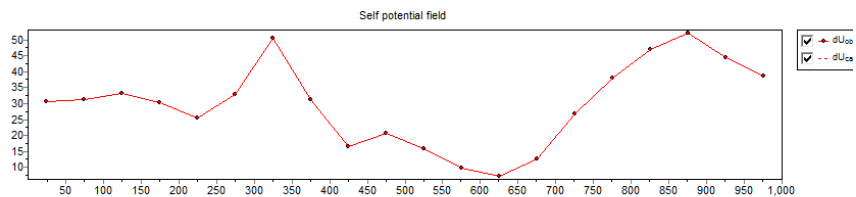
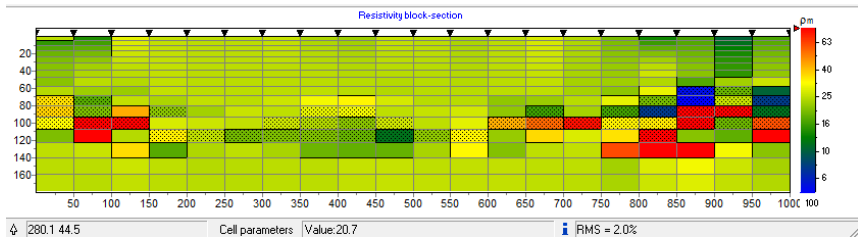
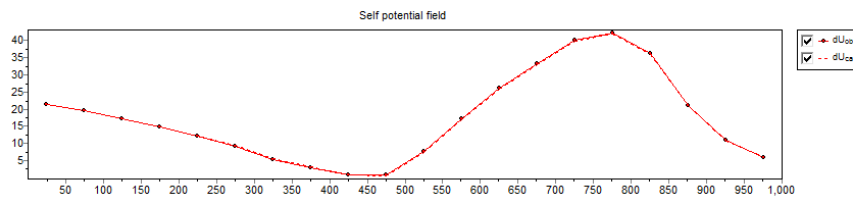
Metode inversi yang digunakan yaitu inversi Occam dengan iterasi sebesar 100. Dari enam line tersebut akan dihasilkan model penampang bawah permukaan sehingga diketahui letak sebaran anomali indikasi fluida panas. Inversi dilakukan untuk 20 titik setiap line dengan spasi 40 m.

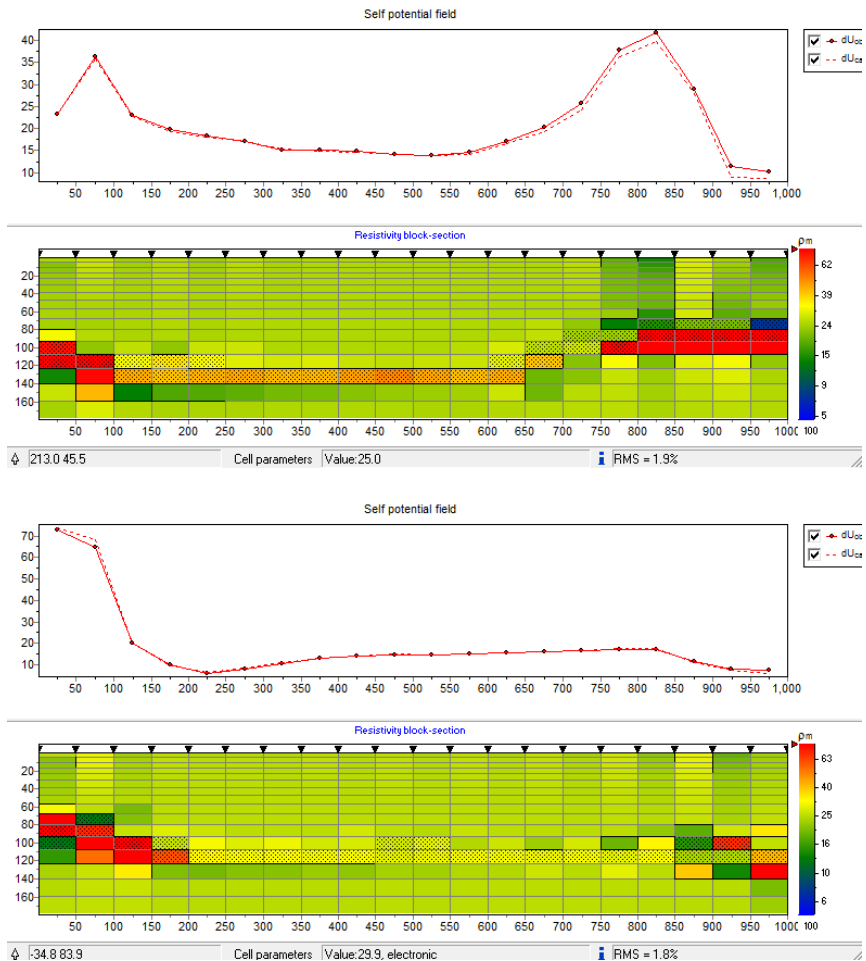


Gambar 4.8 Pemodelan 2D line 1; menebak profil bawah permukaan dengan input nilai beda potensial dalam *block-section*

Pemodelan pada line 1 dilakukan dengan korelasi hasil pemodelan 1D yang menghasilkan anomali pada kedalaman 82.1 m. Pemodelan anomali diasumsikan terdapat pada kedalaman awal 82 m hingga 150 m, letak anomali pada titik ke 9-10 dengan rentang nilai 50-70 mV. RMS error yang dihasilkan sebesar 2.0%, menunjukkan hasil pemodelan yang dilakukan sesuai dengan data hasil pengamatan pada line 1. Hasil pemodelan pada line 2,3,4,5, dan 6 juga menunjukkan hasil yang akurat dikarenakan antara data pengamatan dan pemodelan menghasilkan error kecil (<10).

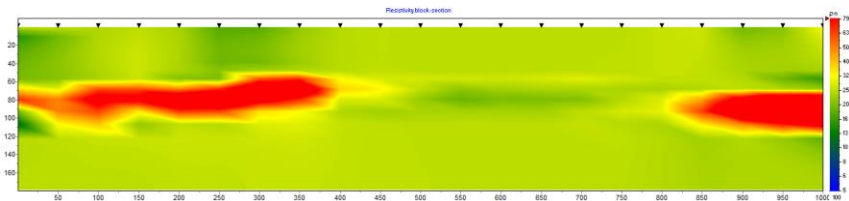






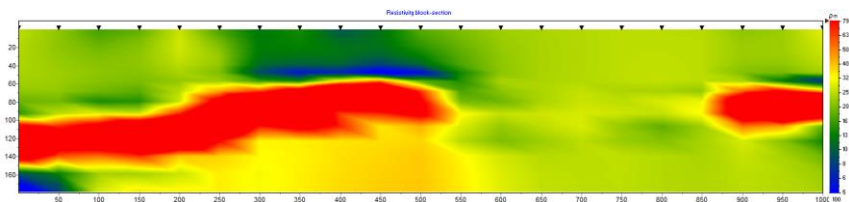
Gambar 4.9 Pemodelan 2D line 2,3,4,5, dan 6; menebak profil bawah permukaan dengan input nilai beda potensial dalam *block-section*

Hasil pemodelan 2D merupakan model tebakan penampang bawah permukaan yang menunjukkan sebaran anomali potential dalam nilai resistivitas. Didapatkan asumsi kedalaman awal dan akhir anomali, serta letak kedalaman anomali potensial rendah dan tinggi. Kontinuitas anomali juga dapat ditentukan melalui pemodelan 2D, sehingga pola aliran dapat ditentukan.



Gambar 4.10 Penampang line 4 (Manifestasi); terdapat anomali akibat efek elektrokinetik

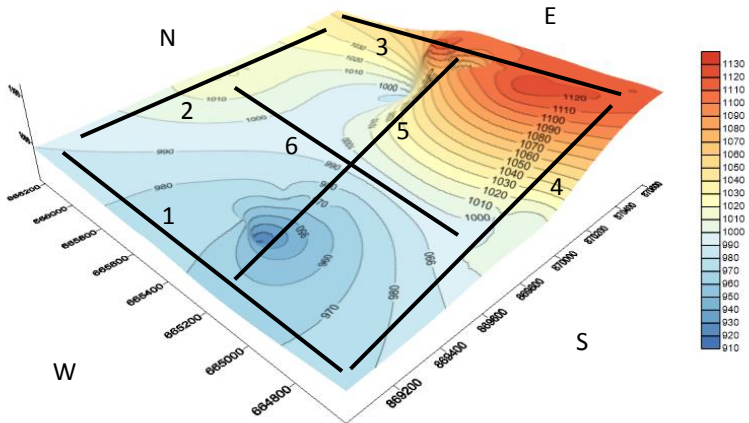
Penampang line 4 menunjukkan anomali tinggi terdapat pada kedalaman 50-80 m, acuan nilai potensial fluida panas yang didapat dari manifestasi berkisar antara 50-70 mV. Fluida panas pada line ini jika dianalisis dari kenampakan permukaan berasosiasi dengan batuan alterasi, fluida berinteraksi dengan batuan alterasi dari sistem hidrotermal. Sistem hidrotermal diindikasikan dengan sirkulasi fluida panas ($50^{\circ} - >500^{\circ}\text{C}$), secara lateral dan vertikal pada temperatur dan tekanan yang bervariasi di bawah permukaan bumi. Sistem ini mengandung dua komponen utama, yaitu sumber panas dan fase fluida. Sirkulasi fluida hidrotermal menyebabkan himpunan mineral pada batuan dinding menjadi tidak stabil dan cenderung menyesuaikan kesetimbangan baru dengan membentuk himpunan mineral yang sesuai dengan kondisi yang baru sebagai alterasi (ubahan) hidrotermal. Endapan mineral hidrotermal dapat terbentuk karena sirkulasi fluida hidrotermal yang melindi (leaching), mentransport, dan mengendapkan mineral-mineral baru sebagai respon terhadap perubahan fisik maupun kimiawi.



Gambar 4.11 Penampang line 1; terdapat anomali akibat efek elektrokinetik (kanan) dan efek termoelektrik (kiri)

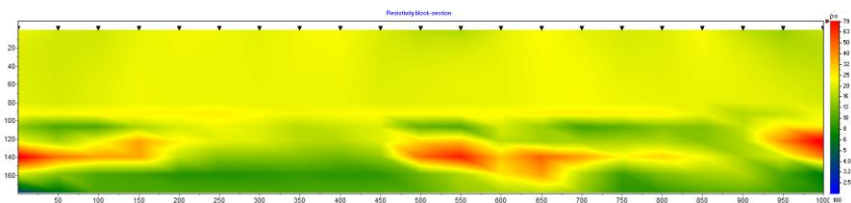
Line 1 terletak disisi barat line 4 sehingga kontinuitas anomali terlihat pada kedalaman 80 m hingga 70 m. Pengaruh topografi pada line 4 dan 1 tidak begitu berpengaruh karena kedua line berada pada topografi yang sama

sehingga kontinuitas nilai potensial tidak terpengaruh oleh pengaruh perbedaan sudut polarisasi dan arus telluric pada bawah permukaan.

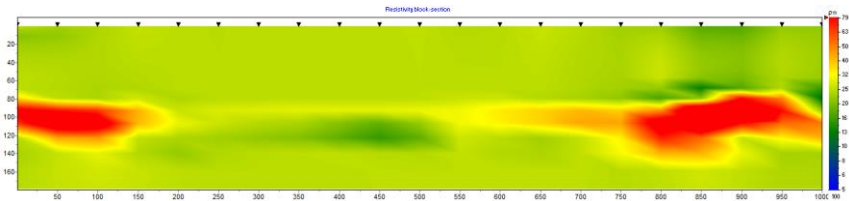


Gambar 4.12 Peta topografi daerah penelitian

Aliran fluida panas pada line 4 diindikasikan berasosiasi dengan rembesan air meteorik karena terdapat nilai potensial rendah (kotak putih) pada lapisan atas anomali. Pengaruh air meteorik jika kontak langsung pada fluida panas akan menyebabkan perubahan tekanan lapisan sehingga pada kemenerusan aliran fluida panas ke arah utara mengalir lebih dalam pada kedalaman 158 m. Indikasi lain turunnya aliran fluida panas pada line 4 karena adanya sesar kecil yang terdapat pada batas antara kedua kedalaman.

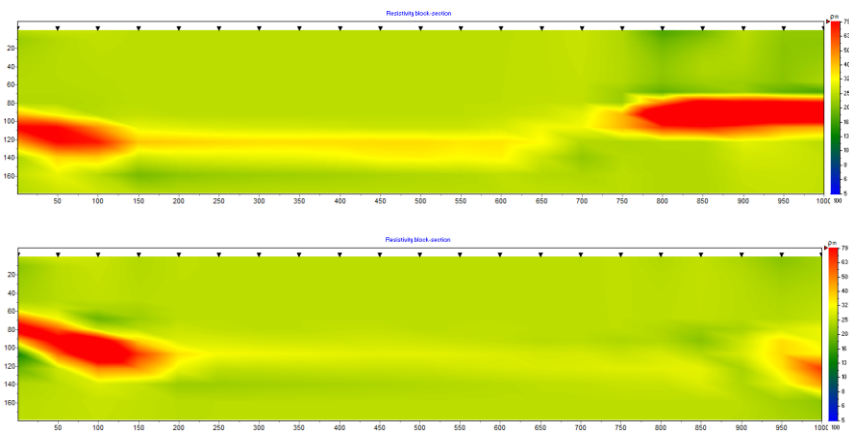


Diasumsikan anomali pada line 2 merupakan rembesan air tanah yang berasosiasi dengan batuan alterasi, ditunjukkan dengan dominasi nilai potensial rendah 0-10 mV. Aliran fluida panas pada area ini hanya berada pada titik timur dan barat line, karena anomali pada kedua titik tersebut merupakan kontinuitas anomali pada line 1 dan 3 yang diasumsikan sebagai alterasi hidrotermal.



Gambar 4.14 Penampang line 3; terdapat anomali akibat efek termoelektrik (kanan) dan efek elektrokinetik (kiri)

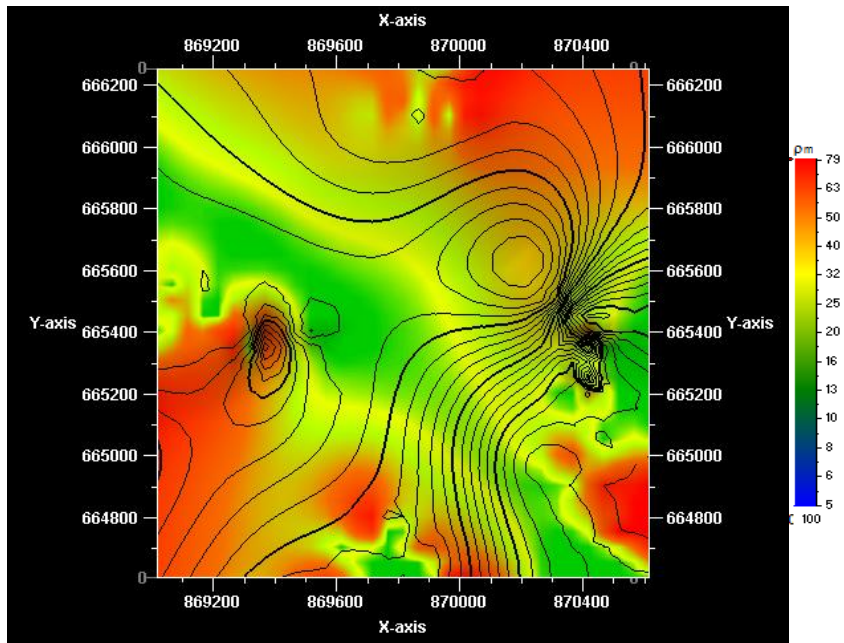
Pada penampang line 3 anomali berada pada topografi tinggi dari area manifestasi. Perbedaan topografi tidak mempengaruhi nilai potensial yang didapat, kecuali beda topografi pada bentangan line sangat tinggi karena akan mempengaruhi sudut polarisasi sehingga dibutuhkan koreksi topografi. Sisi kanan penampang menunjukkan adanya nilai potensial tinggi, karena sisi kanan line 3 mengarah ke zona manifestasi sehingga aliran fluida pada line 3 berkontinu dengan line 4 zona manifestasi.



Gambar 4.15 Penampang line 5 dan 6

Penampang line 5 dengan arah utara (sisi kiri) - selatan (sisi kanan) merupakan line yang berasosiasi dengan zona manifestasi pada bagian selatan sehingga menunjukkan kontinuitas anomali berarah utara pada kedalaman 82 m hingga panjang 50 m kearah utara. Pada sisi utara berasosiasi dengan line 2 dengan anomali berupa rembesan air persawahan. Penampang line 6 berarah barat-timur berasosiasi dengan line 1 dan 3, anomali yang terlihat merupakan kontinuitas fluida panas dari kedua line.

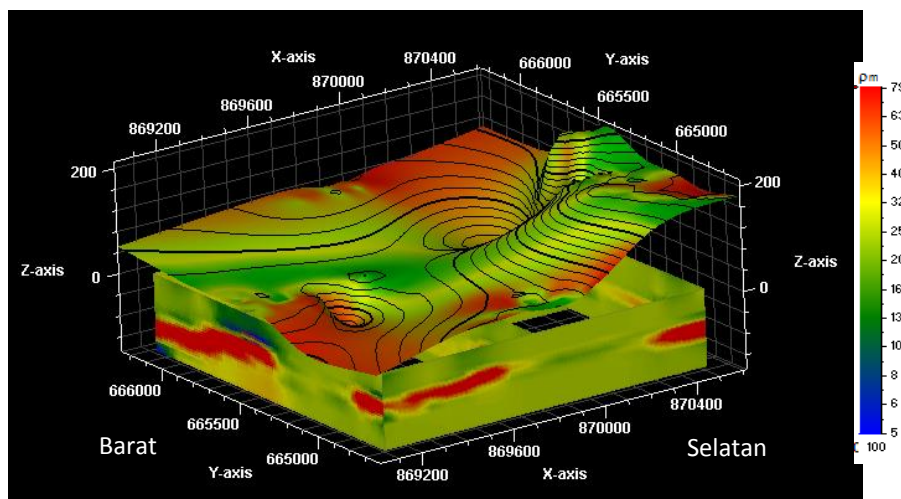
4.5 Interpretasi Pola Aliran Fluida Panas



Gambar 4.16 Peta isopotensial manifestasi hidrotermal Songgoriti

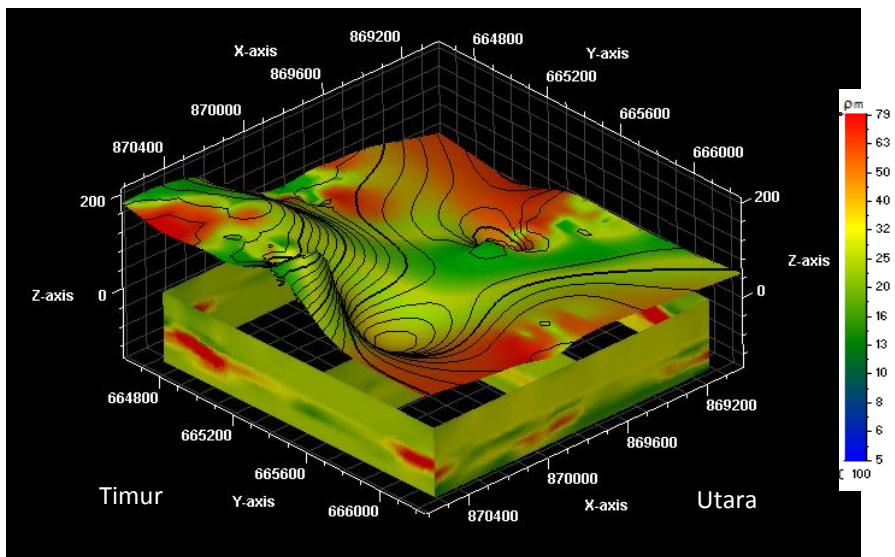
Peta isopotensial di daerah manifestasi hidrotermal songgoriti ditunjukkan pada gambar 4.16 dengan nilai anomali *self-potential* berkisar 5 mV sampai 85 mV. Persebaran fluida panas ditunjukkan dengan nilai anomali tinggi berkisar 60 hingga 85 mV yang tersebar hampir diseluruh daerah penelitian. Sebaran nilai *self-potential* yang paling besar terdapat pada sisi selatan zona manifestasi. Anomali *self-potential* yang didapatkan di daerah penelitian menunjukkan adanya efek termoelektrik dengan proses konduksi

termal, karena dihasilkan nilai hingga beberapa puluh mV dengan ketinggian berkisar 1000 sampai 1019 meter. Proses konduksi termal di daerah penelitian diindikasikan berasosiasi dengan zona alterasi hidrotermal yang menyebabkan peningkatan nilai anomali *self-potential* yang terdistribusi merata pada daerah tersebut dan mempengaruhi aliran lokal. Hal ini sesuai dengan efek termoelektrik, dimana daerah yang mengalami arus konduksi akan menunjukkan anomali nilai *self-potential* bernilai positif hingga ratusan.



Gambar 4.17 Model 3D isopotensial Songgoriti (barat-selatan)

Efek termoelektrik pada zona manifestasi terlihat pada kedalaman 78 meter dan berarah ke barat mengalir ke kedalaman 150 meter (Gambar 4.17). Konduksi termal pada sisi selatan berasosiasi dengan sumber panas sebagai zona upflow akibat rekahan, sehingga respon nilai *self-potential* relatif tinggi. Pola aliran pada arah barat-selatan mengalami diskontinu aliran fluida panas, diindikasikan karena aliran mengalami penurunan arah akibat struktur batuan yang kompak serta tidak bersifat *porous* sehingga aliran mengalir kebawah lapisan batuan tersebut. Dominasi batuan vulkanik pada daerah ini menurut geologi regional menyebabkan aliran harus mencari celah aliran ke zona *porous* karena sifat dari batuan vulkanik yaitu *tight*.



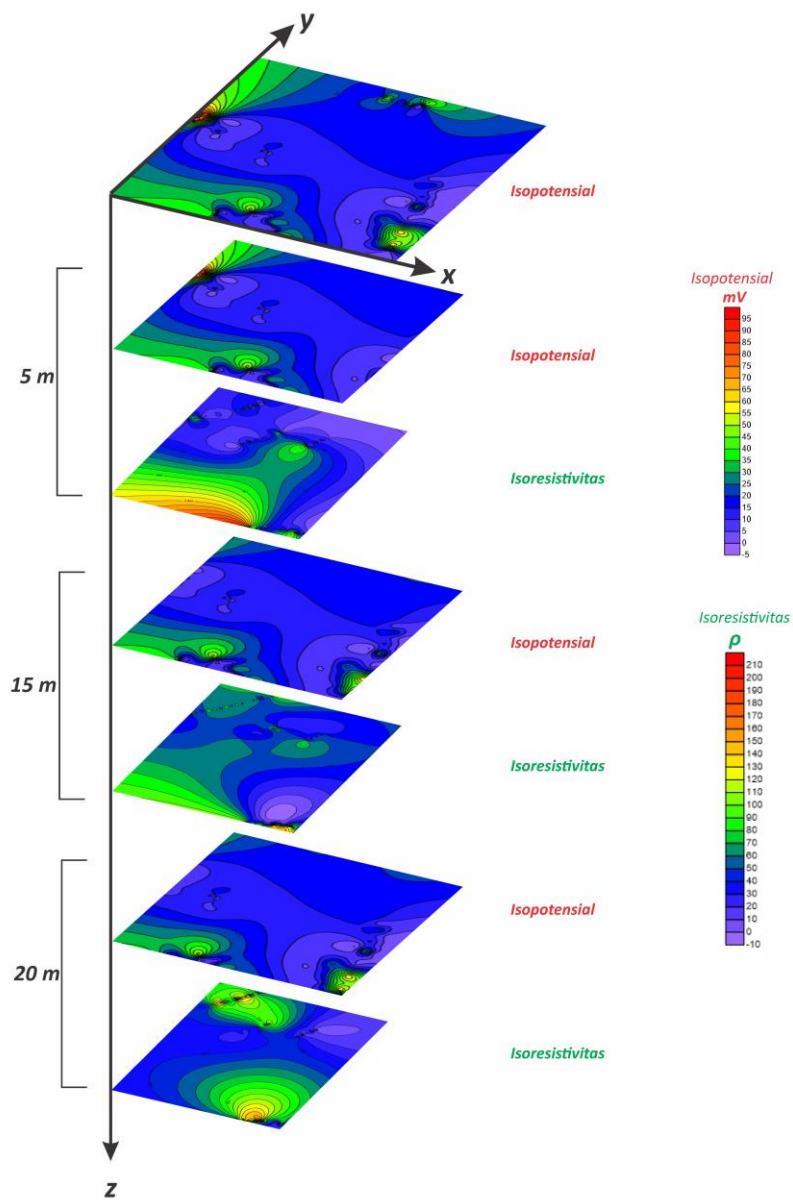
Gambar 4.18 Model 3D isopotensial Songgoriti (timur-utara)

Pengaruh efek topografi yang menjelaskan bahwa fluida bawah permukaan yang mengalir dari tempat tinggi menuju tempat rendah. Hal ini menunjukkan pola aliran fluida panas mengarah dari timur ke utara yang disebabkan oleh efek topografi. Pada sisi utara pengaruh elektrokimia dominan, dikarenakan daerah pengukuran berupa persawahan sehingga anomali yang didapat diasumsikan sebagai rembesan air dan elektrokimia dari tumbuhan, sehingga pada sisi utara tidak teridentifikasi adanya aliran fluida panas.

4.6 Korelasi Hasil Survey *Self-Potential* dan Resistivitas

Korelasi antara hasil pengukuran *self-potential* dan resistivitas dapat diketahui melalui persebaran masing-masing nilai. Peta isopotensial dan iso-resistivitas pada gambar 4.21 menunjukkan persebaran nilai potensial, dan nilai resistivitas berdasarkan kedalaman tertentu. Survey geolistrik resistivitas dilakukan menyebar berdasarkan acuan anomali *self-potential* dengan 4 line survey pada daerah manifestasi hidrotermal. Persebaran nilai resistivitas yang dihasilkan berkisar -10 hingga 210 ohm.m, dari interpretasi penampang resistivitas diketahui indikasi fluida panas diasumsikan sebagai zona konduktif yang berasosiasi dengan batuan teralterasi. Jika dianalisa melalui peta isopotensial,

kontinuitas anomali potensial dengan peta iso-resistivitas mempunyai korelasi berupa kemenerusan anomali mulai dari kedalaman 5 meter hingga 20 meter. Integrasi *self-potential* dan resistivitas dapat memberikan asumsi yang lebih kuat dalam penentuan aliran fluida serta letak kedalaman dangkal, meskipun anomali yang didapat oleh survey *self-potential* terletak lebih dalam daripada survey resistivitas namun struktur bawah permukaan secara dangkal dapat teridentifikasi. Hingga kedalaman 20 meter pada peta iso-resistivitas menunjukkan kontinuitas anomali pada rentang nilai 70-100 ohm meter.



Gambar 4.21 Isopotensial dan iso-resistivitas daerah penelitian

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai beda potensial pada daerah penelitian berkisar antara 5-85 mV dengan nilai terbesar terdapat pada daerah manifestasi.
2. Berdasarkan hasil inversi 1D least square didapatkan kedalaman anomali 78-158 meter dan *shape factor* anomali berbentuk *vertical cylinder* dan *horizontal cylinder* berdasarkan inversi 1D.
3. Berdasarkan hasil inversi 2D berupa penampang menunjukkan letak dan kedalaman anomali sesuai hasil inversi 1D yaitu pada line 1 82 meter, line 2, 158 meter, line 3 108 meter, dan line 4 78 meter.
4. Anomali pada daerah penelitian dominan berupa zona konduktif batuan alterasi yang berasosiasi dengan fluida panas.
5. Pola aliran fluida panas mengalir dari zona upflow (manifestasi) menuju arah timur yang bertopografi tinggi hingga kearah barat

5.2 Saran

1. Area akuisisi diperluas agar pola aliran fluida panas dapat diketahui secara luas.
2. Penggunaan spasi antar porousspot lebih baik diperkecil agar profil anomali yang didapat lebih terlihat jelas.
3. Kedalaman anomali lebih dalam jika bentangan line pengukuran diperpanjang.
4. Korelasi dengan hasil survey lain seperti gravity, magnetik, dan magnetotellurik, agar keakuratan interpretasi aliran fluida semakin tinggi.
5. Diperlukan survey suhu permukaan daerah penelitian.
6. Diperlukan survey geokimia untuk mengetahui sifat kimia fluida panas dan batuan pengontrol fluida panas.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Reynold, John M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. West Sussex: Wiley.
- Tambunan, C., Pertama, W. 1997. *Metode Geofisika Potensial Diri (Self Potential)*. Bandung : PUSDIKLAT Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral.
- Telford, W. M. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. USA: Cambridge University Press.
- El-Araby, H. M., "A New Method for Complete Quantitative Interpretation of Self-potential Anomalies", Vol. 55, pp. 211-224, 2004.
- Minsley, B. J., "Modeling and Inversion of Self-Potential Data", B. S. Applied Physics, Purdue University, 1997
- Revil, A. dan Abderrahim J., "The Self-Potential Method: Theory and Applications in Environmental Geosciences", New York, Cambridge University Press, 2013
- Santosa dan Atmawinata. 1992. *Peta Geologi lembar Kediri*. Pusat Penelitian dan pengembangan Geologi.
- Apostolopoulos, G. 2005. *Geophysical Studies Relating to the Tectonic Structure, Geothermal Fields and Geomorphological Evolution of the Sperchios River Valley, Central Greece*. Journal of Balkan Geophysical Society, 8(3):99-112.
- Widodo, S. & Zarkasyi, A. 2006. *Anomali Prospek Panas Bumi Daerah Massepe Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan Berdasarkan Survei Geolistrik dan Head On*. Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi.
- Widodo, S., Mustang, A. & Zarkasyi, A. 2005. *Penyelidikan Geolistrik dan Head On Daerah Panas Bumi Suwawa Kabupaten Bone Bolango Provinsi Gorontalo*. Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi.
- Tong, L.T., Ouyang, S., Guo, T.R., Lee, C.R., Hu, K.H., Lee, C.L. & Wang, C.J. 2008. *Insight into the Geothermal Structure in Chingshui, Ilan, Taiwan*. Terr. Atmos. Ocean. Sci, 19(4):413-424.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Observasi *Self-Potential*

Poin t	X(m)	Y(m)	Z(GPS)	Base (mV)	Rover (mV)	Correction
	7.865722222	112.507	1018	11.1	16.4	16.4
2	7.865833333	112.5069722	1019	21.5	46.4	36.4
3	7.866	112.5069444	1020	9.8	37.5	26.5
4	7.866138889	112.5069167	1024	9.7	37.9	37.8
5	7.86625	112.5069167	1015	10.1	20.3	19.9
6	7.866388889	112.5068889	1018	10.6	25.1	24.6
7	7.866638889	112.5068889	1020	0.58	13.8	4.6
8	7.866805556	112.5068333	1022	0.01	5.6	5.2
9	7.867	112.5068333	1019	10.9	29.6	20.6
10	7.867194444	112.5068333	1016	11.3	43.6	42.6
11	7.867361111	112.5068056	1022	11.1	8.4	7.4
12	7.867611111	112.5069722	1016	10.3	0.9	-0.1
13	7.86775	112.5071111	1019	10.3	40.5	40.5
14	7.867777778	112.5073611	1015	11.4	46.6	45.6
15	7.867666667	112.5074722	1019	9.6	42.1	40.1
16	7.867611111	112.5077222	1015	11.2	31.7	29.7
17	7.867555556	112.5078611	1006	10.9	20.9	19.9
18	7.8675	112.4930556	1015	10.8	39.7	39.7
19	7.867333333	112.49325	1009	10.7	4.1	4.1
20	7.86725	112.4933889	1005	10.8	9.7	9.7
21	7.866888889	112.4936111	1007	11.2	5.9	4.9
22	7.867	112.4937778	1006	10.6	27.7	26.7
23	7.866833333	112.4939167	1009	11.1	29.3	28.3
24	7.866666667	112.4942778	1012	9.2	21.1	19.1
25	7.866541667	112.4943889	999	9.4	6.9	6.9
26	7.865722222	112.49425	996	11.1	1.4	5

27	7.865638889	112.4941389	999	11.4	13.1	13.1
28	7.865611111	112.4941944	996	8.4	12.1	9.1
29	7.8655	112.4943611	994	8.1	37.8	37.8
30	7.865527778	112.4944444	992	7.4	38.8	37.8
31	7.8655	112.4945556	1000	6.5	54.8	53.8
32	7.864444444	112.4935278	1005	5.8	14.2	13.2
33	7.864388889	112.4935556	1006	5.7	15.3	15.3
34	7.864277778	112.4935556	1009	5.9	16.5	16.5
35	7.864222222	112.4936111	999	10.6	37.5	32.5
36	7.864222222	112.4933889	1000	10.4	33.1	33.1
37	7.864277778	112.4934722	998	8.2	5.9	3.9
38	7.864305556	112.4936111	999	8.2	3.1	3.1
39	7.864333333	112.4938056	1000	8.1	2.1	2.1
40	7.870427778	112.4956944	1121	12	4.8	0.8
41	7.870358333	112.4963361	1127	13	5.9	4.9
42	7.871544444	112.4946028	1124	17	10.2	6.2
43	7.871333333	112.495225	1123	15	16.1	14.1
44	7.87125	112.4959056	1121	2	17.8	4.8
45	7.87115	112.4964917	1124	2	27.3	27.3
46	7.872747222	112.4938028	1121	1	1.7	0.7
47	7.872619444	112.494425	1112	5	62	58
48	7.872502778	112.4950639	1112	2	43.4	40.4
49	7.872361111	112.4957611	1110	11	62.4	53.4
50	7.872236111	112.4963972	1118	13	20.9	18.9
51	7.87215	112.4969556	1111	10	3.6	1.6
52	7.872080556	112.4975417	1113	13	5.9	2.9
53	7.871969444	112.4982194	1117	7	38.3	32.3
54	7.871694444	112.4992194	1023	3	17.9	13.9
55	7.871672222	112.4997917	1018	2	9.8	8.8
56	7.871566667	112.5003556	1123	3	21.7	20.7
57	7.871311111	112.5008694	1121	2	5.3	4.3
58	7.870802778	112.5013694	984	5	19.1	16.1

59	7.871611111	112.498027	1107	7.2	7.3	3.3
60	7.871388889	112.498472	1106	8.3	-0.8	-1.8
61	7.871361111	112.498944	1098	9	7.4	6.4
62	7.871361111	112.499416	1091	12	15.3	12.3
63	7.871694444	112.499333	1095	16	12.9	8.9
64	7.872166667	112.498888	1099	19	6.6	3.6
65	7.872166667	112.499972	1099	19.2	2.1	2.1
66	7.872361111	112.498194	1102	20.1	3.1	2.1
67	7.872638889	112.497861	1112	22	3.2	1.2
68	7.873027778	112.4975	1112	23.2	4.2	3.2
69	7.8735	112.497166	1113	23.7	5.2	4.2
70	7.862055556	112.499861	913	0	27.3	27.3
71	7.861777778	112.500055	971	0.7	1.7	0.7
72	7.8615	112.500138	974	58	62	58
73	7.861277778	112.500222	977	40.4	43.4	40.4
74	7.861055556	112.500305	975	53.4	62.4	53.4
75	7.860805556	112.500388	976	18.9	20.9	18.9
76	7.860694444	112.500583	974	1.6	3.6	1.6
77	7.860416667	112.50063	974	2.9	5.9	2.9
78	7.860166667	112.500666	975	32.3	38.3	32.3
79	7.859916667	112.500666	976	13.9	17.9	13.9
80	7.859694444	112.500805	978	8.8	9.8	8.8
81	7.859472222	112.501	978	20.7	21.7	20.7
82	7.859222222	112.501222	977	4.3	5.3	4.3
83	7.859083333	112.501305	978	16.1	19.1	16.1
84	7.859194444	112.501805	976	3.3	7.3	3.3
85	7.859527778	112.501722	972	-1.8	-0.8	-1.8
86	7.859472222	112.501888	976	6.4	7.4	6.4
87	7.860027778	112.501722	978	12.3	15.3	12.3
88	7.860277778	112.501722	972	8.9	12.9	8.9
89	7.860583333	112.501666	970	3.6	6.6	3.6
90	7.860833333	112.501722	973	2.1	2.1	2.1

91	7.863444444	112.500111	981	2.1	3.1	2.1
92	7.863472222	112.499888	965	1.2	3.2	1.2
93	7.863555556	112.499777	968	3.2	4.2	3.2
94	7.863722222	112.499722	966	4.2	5.2	4.2
95	7.863888889	112.499611	967	-0.9	2.1	-0.9
96	7.863888889	112.499416	970	2.1	3.1	2.1
97	7.864027778	112.499055	970	3.1	3.2	3.1
98	7.864027778	112.498777	970	3.2	4.2	3.2
99	7.864305556	112.4985	970	4.2	5.2	4.2
100	7.864305556	112.498222	970	5.2	6.2	5.2

Lampiran 2. Kode Matlab untuk pemodelan kebelakang (*inverse modeling*)

```
% Anggi Arwin P (NRP: 3713100014)
%
% RF141501 - Tugas Akhir
%
% Jurusan Teknik Geofisika
%
% Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
%
% Institut Teknologi Sepuluh Nopember
%
% Surabaya 2017
%
% Weiss anomaly, Ergani, Turkey
%
% Model Parameters and Variables:
%
% q      = Shape factor (dimensionless)
%
% theta = The polarization angle between the axis
of polarization
%
%        and the horizontal (in degree)
%
% k      = Electric current dipole moment (mV)
%
% z      = Depth (unit)
%
% x      = A discrete point along x-axis (unit)
%
% v      = Anomaly value at the origin, x0 (mV)
```

```

% s      = Observation point
% vsp    = SP value at observation point s, with
xi=s (mV)
% vsn    = SP value at observation point s, with
xi=-s (mV)
% Y      = Observed SP anomaly values at xi
% x_0    = Distance at position xi=0

clear,clc
q=1.5;
s=6;
xi=-12:12;
Y=[53    65    70    67.5    61    50    38    1.00E+01    -15 -
1.00E+02    -2.12E+02    -300    -330    -350    -355
-352    -340    -335    -285    -230    -177.5    -115
-75 -42.5    -40];
x_0=13;
v=Y(x_0);
vsp=Y(x_0+s);
vsu=Y(x_0-s);

%25 points at an interval of 7.7 m (7.7 m / unit)
int=7.7;

%F and P are known numerical values from measured SP
anomaly at x=0, x=s,
%x=-s ---> The solution for q instead of the unknowns
z and theta
F=(vsp+vsu)/(2*v);
P=(vsp-vsu)/(2*v);

%Formula for W

```

```

W=(s^(2*q-
1))*(((xi.*P)+(s*F))./((xi.^2+(F^(1/q))*(s^2)-
(xi.^2))).^q));

%The first derivative of W
AA=(xi.*P+s*F)-s^(2*q-1);
BB=(xi.^2+(s^2-xi.^2)-F^(1/q)).^q;
CC=s^2;
DD=xi.^2+(s^2-xi.^2)*F^(1/q);
EE=(s^2-xi.^2)*(F^(1/q))*(log(F));
FF=q*(xi.^2+(s^2-xi.^2)*F^(1/q));
AB=AA./BB;
CD=CC./DD;
EF=EE./FF;
Wd=(AB).*(log(CD)+(EF));

%Find q value
GG=v*(W.^2);
HH=rdivide((((s^2-
xi.^2).*F^(1/q))*log(F)),(xi.^2+((F^(1/q))*(s^2-
xi.^2))));
II=Y.*Wd;
JJ=v*((W.^2).*(log(rdivide(s^2,(xi.^2)+(F^(1/q))*(s^2-
xi.^2)))));
qc=rdivide(sum((GG).*(HH)),sum(II)-sum(JJ))

%Find z, theta, k, and e
z2=(sqrt(((s^2)*(F^(1/qc)))/(1-(F^(1/qc))))) *int
theta2=acotd((P/(s*F))*(sqrt(((s^2)*(F^(1/qc)))/(1-
(F^(1/qc)))))
k2=v*((z2/int)^(2*q-1))/sind(theta2)
e=abs(qc-q)

```


Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian







“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Anggi Arwin Pratama dilahirkan di Bojonegoro, 20 Agustus 1995 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Mojomalang 1 (2001-2007), MTs Plus Darul Ulum Peterongan (2007-2010), SMA Darul Ulum 2 BPPT Jombang (2010-2013). Penulis menempuh pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai mahasiswa Departemen Teknik Geofisika pada tahun 2013. Selama masa kuliah penulis aktif dalam beberapa organisasi antara lain Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG-ITS) sebagai kepala divisi media sosial periode 2015/2016 dan Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) sebagai kepala divisi media informasi periode 2016/2017. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Pertamina EP Jakarta dalam interpretasi seismik 3D untuk karakterisasi reservoir batu gamping pada formasi Baturaja cekungan Jawa Barat Utara. Jika ingin berdiskusi lebih jauh mengenai tugas akhir penulis, dapat menghubungi : anggiarwin.p@gmail.com.